



TUGAS AKHIR TK 145501

**PABRIK PULP DARI BAMBU PETUNG
(*Dendrocalamus asper*) DENGAN PROSES
ACETOCELL**

**ZAHRA SAHARA ARFENTI
NRP. 2312 030 014**

**FRYDA HANUM SOFIA
NRP. 2312 030 016**

**Dosen Pembimbing
Ir. Elly Agustiani, M. Eng.**

**PROGRAM STUDI DIII TEKNIK KIMIA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT TK 145501

**PULP FACTORY FROM PETUNG BAMBOO
(*Dendrocalamus asper*) WITH ACETOCELL
PROCESS**

ZAHRA SAHARA ARFENTI
NRP. 2312 030 014

FRYDA HANUM SOFIA
NRP. 2312 030 016

Lecturer
Ir. Elly Agustiani, M. Eng.

DEPARTMENT DIPLOMA OF CHEMICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

LEMBAR PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR DENGAN JUDUL :
PABRIK PULP DARI BAMBU PETUNG
(*Dendrocalamus asper*) DENGAN PROSES
ACETOCELL

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing



Ir. Elly Agustiani, M. Eng.

NIP. 19580819 198503 2 003

Mengetahui,

Ketua Program Studi
D III Teknik Kimia FTI-ITS



Ir. Budi Setiawan, M.T.

NIP. 19540220 198701 1 001

Koordinator Tugas Akhir
D III Teknik Kimia FTI-ITS



Achmad Ferdiansyah P. P., S. T., M. T.

NIP. 2300201308002

LEMBAR PERSETUJUAN PERBAIKAN TUGAS AKHIR

Telah diperiksa dan disetujui sesuai dengan hasil ujian tugas akhir pada tanggal 18 Juni 2015, untuk tugas akhir dengan judul **“Pabrik Pulp dari Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*) dengan Proses Acetocell”**, yang disusun oleh :

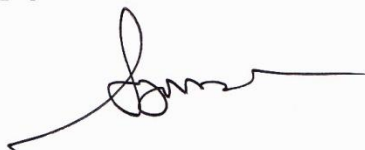
Zahra Sahara Arfenti
Fryda Hanum Sofia

(2312 030 014)
(2312 030 016)

Mengetahui/menyetujui
Dosen Penguji



Ir. Budi Setiawan, M.T.
NIP. 19540220 198701 1 001

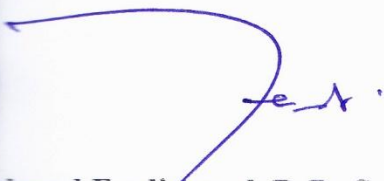


Ir. Agung Subyakto, M.S.
NIP. 19580312 198601 1 001

Mengetahui,

Koordinator Tugas Akhir

Dosen Pembimbing



Ahmad Ferdiansyah P. P., S. T., M. T.
NIP. 2300201308002



Ir. Elly Agustiani, M. Eng
NIP. 19580819 19503 2 003

PABRIK PULP DARI BAMBU PETUNG (*Dendrocalamus asper*) DENGAN PROSES ACETOCELL

Nama Mahasiswa: 1. Zahra Sahara Arfenti 2312 030 014

2. Fryda Hanum Sofia 2312 030 016

Program Studi : D3 Teknik Kimia FTI-ITS

Dosen Pembimbing : Ir. Elly Agustiani, M. Eng.

ABSTRAK

Semakin meningkatnya impor pulp di Indonesia menunjukkan bahwa semakin besar pula kebutuhan pulp yang digunakan. Sehingga, untuk memenuhi kebutuhan pulp nasional maka didirikanlah pabrik pulp. Pabrik pulp ini akan didirikan di daerah Bondowoso, Jawa Timur. Pabrik ini menggunakan bahan baku bambu petung dengan proses acetocell.

Pembuatan pulp dari bambu petung dengan proses acetocell melalui 4 tahap. Tahap pertama yaitu pre-treatment. Pencacahan bambu menjadi serpihan. Tahap kedua yaitu pemasakan dengan larutan CH_3COOH 90% pada temperatur pemasakan 170°C selama ± 180 menit di dalam pandia digester. Perbandingan antara CH_3COOH dengan serat bambu yaitu 6:1. Tahap ketiga adalah tahap pemutihan dengan peroksida untuk meningkatkan brightness dan proses pencucian dengan menggunakan air. Tahap keempat yaitu pulp akan menuju head box yang selanjutnya menuju wire part untuk membentuk lembaran pulp. Setelah itu lembaran pulp dikeringkan dengan alat rotary dryer. Pada tahap akhir produk akan disimpan di gudang penyimpanan.

Pabrik pulp bekerja secara kontinyu dan beroperasi selama 330 hari/tahun dengan kapasitas produksi 40.000 ton/tahun. Bambu petung yang dibutuhkan yaitu 263.504,61 kg/hari dengan bahan baku pendukung CH_3COOH , H_2O_2 dan NaOH . Kebutuhan utilitas adalah air sanitasi, air umpan boiler, air make up kondensat dan air proses masing – masing 172; 1.204,07; 240,81; 39.217,27 m^3 /hari. Limbah yang dihasilkan dari industri ini yaitu black liquor, limbah pencucian bubur pulp dan impurities.

Kata Kunci: Pulp, Bambu Petung, Acetocell, CH_3COOH

PULP FACTORY FROM PETUNG BAMBOO (*Dendrocalamus asper*) WITH ACETOCELL PROCESS

Name : 1. Zahra Sahara Arfenti 2312 030 014

2. Fryda Hanum Sofia 2312 030 016

Department : Diploma of Chemical Engineering FTI-ITS

Lecturer : Ir. Elly Agustiani, M. Eng.

ABSTRACT

Nowadays, amount of import pulp is increasing every year in Indonesia. In this matter shown that pulp as a common goods requirement is also high. So, the solution for pulp national fulfillment is to build pulp factory. This factory will be established in Bondowoso, Jawa Timur. This factory using raw material from Petung bamboo with acetocell process.

The process of bamboo petung pulp consist of 4 stages. The first stage is pre-treatment process. Bamboo chipping until become chips. Second stage is cooking process with CH_3COOH 90% liquor at 170°C for ± 180 minutes in pandia digester. The ratio of CH_3COOH liquor with chips is 6:1. Third stage is bleaching and washing process with water to increase brightness number. Fourth stage is finishing pulp in head box and then wire part to create web pulp and the last is drying process with rotary dryer. In the last process, pulp products will be stored in storehouse.

The pulp factory work continuously and will operated for 330 day/year with production capacity 40.000 ton/year. The requirement raw material of petung bamboo is 263.504,61 kg/day with CH_3COOH , H_2O_2 and NaOH as a supporting material. The utilities included sanitation water, boiler feed water, condensate make up water and process water which needs 172; 1.204,07; 240,81; 39.217,27 m^3/day for each water. The waste containing black liquor, washing pulp waste and impurities.

Key words: *Pulp, Petung Bamboo, Acetocell, CH_3COOH*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat dan rahmat – Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul :

”PABRIK PULP DARI BAMBUTUNG (*Dendrocalamus asper*) DENGAN PROSES ACETOCELL”

Laporan tugas akhir ini merupakan tahap akhir dari penyusunan tugas akhir yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya (Amd) di Program Studi D3 Teknik Kimia FTI – ITS. Pada kesempatan kali ini atas segala bantuannya dalam pengerjaan laporan tugas akhir ini, kami mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Ir. Budi Setiawan, MT selaku Ketua Program Studi D3 Teknik Kimia FTI – ITS.
2. Bapak Achmad Ferdiansyah P. P., S. T., M. T. selaku Ka Sie Tugas Akhir Program Studi D3 Teknik Kimia FTI – ITS.
3. Ibu Ir. Elly Agustiani M. Eng selaku dosen pembimbing kami.
4. Bapak Ir. Budi Setiawan, MT dan Ir. Agung Subyakto, MS selaku dosen penguji.
5. Seluruh dosen dan karyawan Program Studi D3 Teknik Kimia FTI – ITS.
6. Kedua orang tua dan keluarga kami yang telah banyak memberikan dukungan moral dan materiil.
7. Rekan – rekan seperjuangan angkatan 2011 serta angkatan 2012 dan angkatan 2013.
8. Teman dan sahabat yang telah memberikan dukungan selama ini.

Surabaya, Juni 2015
Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
BAB I PENDAHULUAN	
I.1. Latar Belakang Masalah	I-1
I.2. Dasar Teori	I-6
I.3. Kegunaan	I-10
I.4. Sifat Kimia dan Fisika	I-10
BAB II MACAM DAN URAIAN PROSES	
II.1. Macam Proses	II-1
II.2. Seleksi Proses	II-8
II.3. Uraian Proses Terpilih	II-10
II.4. Blok Diagram Proses	II-13
BAB III NERACA MASSA	III-1
BAB IV NERACA PANAS	IV-1
BAB V SPESIFIKASI ALAT	V-1
BAB VI UTILITAS	
VI.1. Sistem Pengolahan Air	VI-1
VI.2. Proses Pengolahan Air	VI-5
VI.3. Perhitungan Kebutuhan Air	VI-8
VI.4. Steam	VI-10
VI.5. Listrik	VI-10
BAB VII KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA	
VII.1. Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Secara Umum	VII-1
VII.2. Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Secara Khusus	VII-7
VII.3. Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Pada Alat	VII-11

BAB VIII ALAT UKUR DAN INSTRUMENTASI

VIII.1. Alat Instrumentasi Secara Umum VIII-3

VIII.2. Sistem Instrumentasi pada Pabrik Pulp
dari Bambu Petung VIII-4

BAB IX PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI KIMIA

IX.1. Unit Pengolahan Limbah IX-1

IX.2. Usaha Menangani dan Memanfaatkan
Limbah IX-4

IX.3. Dampak yang Ditimbulkan dari Limbah IX-4

BAB X KESIMPULAN

DAFTAR NOTASI ix

DAFTAR PUSTAKA x

LAMPIRAN :

1. APPENDIKS A

2. APPENDIKS B

3. APPENDIKS C

4. PROSES FLOW DIAGRAM PABRIK

5. PROSES FLOW DIAGRAM UTILITAS PABRIK

DAFTAR TABEL

Tabel I.1	Perkembangan Ekspor, Impor dan Produksi Pulp Tahun 2009-2013 Cair T-2011	I-3
Tabel I.2	Komposisi Bambu Petung (<i>Dendrocalamus asper</i>)	I-8
Tabel I.3	Komposisi Bambu Petung (<i>Dendrocalamus asper</i>)	I-11
Tabel I.4	Sifat Kimia Bambu Petung (<i>Dendrocalamus asper</i>)	I-12
Tabel II.1	Kondisi Operasi dari Berbagai Macam Proses Pembuatan Pulp	II-9
Tabel II.2	Kelebihan dan Kekurangan Masing-Masing Proses	II-9
Tabel III.1	Komposisi Bambu Petung	III-1
Tabel III.2	Neraca Massa pada Belt Conveyor	III-1
Tabel III.3	Neraca Massa pada Drum Chipper	III-2
Tabel III.4	Neraca Massa pada Bruks Disc Screen	III-2
Tabel III.5	Neraca Massa pada Tangki Pengenceran CH ₃ COOH 90%	III-3
Tabel III.6	Neraca Massa pada Tangki Impregnasi	III-3
Tabel III.7	Neraca Massa pada Pandia Digester	III-4
Tabel III.8	Neraca Massa pada Blow Tank	III-4
Tabel III.9	Neraca Massa pada Heat Exchanger	III-5
Tabel III.10	Neraca Massa pada Washer 1	III-6
Tabel III.11	Neraca Massa pada Brownstock	III-7
Tabel III.12	Neraca Massa pada Tangki Pengenceran H ₂ O ₂ 2,5%	III-7
Tabel III.13	Neraca Massa pada Tangki Pengenceran NaOH 1,25%	III-8
Tabel III.14	Neraca Massa pada Tangki Pencampuran	III-8
Tabel III.15	Neraca Massa pada Reaktor Peroksida	III-9
Tabel III.16	Neraca Massa pada Washer 2	III-9
Tabel III.17	Neraca Massa pada Storage Tank	III-10

Tabel III.18	Neraca Massa pada Head Box.....	III-11
Tabel III.19	Neraca Massa pada Wire Part	III-11
Tabel III.20	Neraca Massa pada Press Part Roll	III-12
Tabel III.21	Neraca Massa pada Dryer.....	III-12
Tabel III.22	Neraca Massa pada Cutter	III-13
Tabel IV.1	Neraca Panas pada Tangki Impregnasi.....	IV-1
Tabel IV.2	Neraca Panas pada Pandia Digester	IV-1
Tabel IV.3	Neraca Panas pada Blow Tank	IV-2
Tabel IV.4	Neraca Panas pada Heat Exchanger	IV-2
Tabel IV.5	Neraca Panas pada Heat Exchanger Washer 1	IV-2
Tabel IV.6	Neraca Panas pada Washer 1.....	IV-3
Tabel IV.7	Neraca Panas pada Mixer	IV-3
Tabel IV.8	Neraca Panas pada Reaktor Peroksida	IV-3
Tabel IV.9	Neraca Panas pada Heat Exchanger Washer 2.....	IV-4
Tabel IV.10	Neraca Panas pada Washer 2.....	IV-4
Tabel IV.11	Neraca Panas pada Storage Tank	IV-4
Tabel IV.12	Neraca Panas pada Dryer	IV-4
Tabel VI.1	Parameter Kimia Air Sanitasi.....	VI-4
Tabel VI.2	Syarat Air Pendingin	VI-4
Tabel VI.3	Kebutuhan Air Umpan Boiler pada Pabrik	VI-8
Tabel VI.4	Kebutuhan Air Proses pada Pabrik.....	VI-9
Tabel VI.5	Kebutuhan Steam	VI-10
Tabel VIII.1	Sistem Instrumentasi pada Pabrik Pulp dari Bambu Petung	VIII-4

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1	Bambu Petung (<i>Dendrocalamus asper</i>).....	I-7
Gambar I.2	Struktur Selulosa.....	I-8
Gambar I.3	Struktur Hemiselulosa.....	I-9
Gambar I.3	Struktur Lignin.....	I-10
Gambar II.1	Diagram Alir <i>Stone Groundwood</i>	II-2
Gambar II.2	Diagram Alir <i>Refiner Mechanical Pulping</i>	II-3
Gambar II.3	Diagram Alir Proses Semi Kimia	II-5
Gambar II.4	Diagram Alir Proses Acetocell	II-8
Gambar II.4	Blok Diagram Alir Proses	II-13

DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Satuan
m	Massa	kg/hari
C _p	Kapasitas Panas	kkal/kg. C
N	Normalitas	N
BM	Berat Molekul	gr/mol
V	Volume	m ³
ΔE	Kontribusi Elemen	kJ/kmol. K
DP	Derajat Polimerisasi	-
n	Jumlah Koefisien	-
ΔH ^{°f}	Entalpi Pembentukan	kkal/kmol
T	Temperatur	C
Q	Kalor yang Dibutuhkan	kkal/hari
ΔH	Perubahan Entalpi	-
R	Jari-Jari	m
S	Allowable Stress	psia
P	Tekanan Desain	psig
ρ	Densitas	kg/m ³
N _{re}	Bilangan Reynold	-
P	Power Pengaduk	hp
D _m	Diameter Medium	ft
D _s	Diameter Nozzel	ft
W _s	Laju Alir Umpan Masuk	lb/h
μ	Viskositas	kg/ms
Δp	Perbedaan Tekanan	Pa
F	Fraksi	-
A	Luas Area	m ²
C _A	Konsentrasi	lbmol/cuft

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang Masalah

Berkembangnya industri pulp dan kertas pada dasarnya tidak terlepas dari meningkatnya kebutuhan masyarakat akan kertas. Pertumbuhan industri pulp dan kertas di Indonesia dewasa ini mengalami perkembangan yang pesat. Sampai saat ini Indonesia menempati peringkat ke-9 sebagai produsen pulp dan peringkat ke-12 sebagai produsen kertas di dunia (*Marsoem, 2009*).

Perkembangan ini mengakibatkan permintaan bahan baku pulp dan kertas meningkat, yang sampai saat ini masih didominasi oleh kayu. Pada perkembangannya, permintaan bahan baku kayu tersebut ternyata tidak bisa diimbangi oleh ketersediaan dan pasokan kayu yang ada. Rendahnya ketersediaan kayu telah menimbulkan kekhawatiran akan keberlangsungan proses produksi industri pulp dan kertas, sehingga diperlukan suatu usaha untuk mencari sumber serat alternatif selain kayu. Indonesia merupakan Negara dengan biodiversitas yang tinggi sehingga peluang untuk mendapatkan sumber serat baru sangat terbuka. Salah satu sumberdaya alam yang mudah untuk pengelolaannya sebagai bahan baku substitusi industri pulp dan kertas adalah bambu. Tanaman tersebut memiliki beberapa keunggulan antara lain cepat tumbuh bahkan dalam jangka waktu tiga tahun sudah dapat dipanen, serta sifat anatomi bambu terutama sifat-sifat turunan serat yang lebih baik daripada kayu. Salah satu kawasan di Indonesia yang saat ini memiliki lahan pertanian yang cukup luas sekaligus dapat menjadi penyumbang terbesar pendapatan daerah dan memiliki berbagai macam jenis tanaman bambu yang berpotensi untuk dimanfaatkan adalah kabupaten Bondowoso, Jawa Timur (*Agustiani, 2014*).

Pemilihan jenis bahan baku memegang peranan penting dalam efisiensi pemanfaatan bahan berlignoselulosa untuk pulp dan kertas. Hal ini karena setiap bahan baku memiliki



karakteristik yang spesifik, baik dalam sifat fisik (kadar air, massa jenis), sifat kimia (kadar holoselulosa, lignin, ekstraktif, abu dan silika) ataupun morfologi seratnya (dimensi serat dan turunannya).

Oleh karena itu berdasarkan hasil analisa perbandingan terhadap sifat morfologi serta serat dan sifat fisis berbagai macam jenis bambu yang ada menunjukkan bahwa bambu petung merupakan jenis bambu yang diperkirakan dapat menghasilkan pulp dan kertas dengan kualitas yang relatif baik. (*Fatriasari, 2008*).

1.1.1 Sejarah Teknologi Pulp dan Kertas

Teknologi pulp dan kertas yang tercatat dalam sejarah adalah berawal pada peradaban Cina yang menyumbangkan kertas bagi Dunia. Adalah Tsai Lun yang menemukan kertas dari bahan bambu yang mudah didapat di seantero China pada tahun 101 SM. Selanjutnya, teknik pembuatan kertas tersebut jatuh ke tangan orang-orang Arab pada masa Abbasiyah terutama setelah kalahnya pasukan Dinasti Tang dalam Pertempuran Talas pada tahun 751 Masehi di mana para tawanan-tawanan perang mengajarkan cara pembuatan kertas kepada orang-orang Arab sehingga pada zaman Abbasiyah, muncullah pusat-pusat industri kertas baik di Bagdad maupun Samarkand dan kota-kota industri lainnya, kemudian menyebar ke Italia dan India, lalu Eropa (*Wikipedia, 2014*).

Kemudian, Fourdinner pada tahun 1804 mengupgrade mesin pembuat pulp Louis Robert yang dikenal dengan nama mesin Fourdinner, kemudian pada tahun 1809 John Dikinson mengupgrade mesin fourdinner menjadi mesin silinder. Pulp yang dihasilkan dari proses sebelumnya kurang baik, Watt dan Burges pada tahun 1825-1854 menemukan proses soda untuk meningkatkan kualitas pulp yang dihasilkan dengan menggunakan bahan kimia. Treglmen (Amerika) pada tahun 1866 menemukan proses sulfit menghasilkan pulp dengan tingkat kemurnian selulose tinggi untuk memperbaharui proses soda.



Dahl (Danzig) pada tahun 1879 menemukan proses kraft (sulfat) untuk memperbaharui proses kimia yang sudah ada dengan selektifitas delignifikasi yang tinggi dari proses sulfit (Casey, 1984).

Saat ini terdapat metode baru dalam proses pembuatan pulp dan kertas yang bernama organosolv. Organosolv pulping merupakan proses pemisahan serat dan lignin menggunakan berbagai macam pelarut organik, misalnya aseton, etanol, metanol, asam formiat, asam asetat dll. Proses ini menggunakan pelarut organik seperti alkohol, keton, ester dan asam-asam organik, dengan pelarut yang bebas sulfur sehingga resiko pencemarannya rendah dan mudah dipulihkan (Marsoem, 2009).

I.1.2 Kapasitas dan Lokasi Pabrik

Permintaan pulp di pasar dunia semakin meningkat. Pada tahun 2002 sebesar 163,10 juta ton meningkat menjadi 174,95 juta ton pada tahun 2006 atau naik rata-rata sebesar 1,77% per tahun (Kehutanan, 2014).

Di dunia internasional, Indonesia termasuk eksportir pulp dalam skala besar. Hingga Tahun 2013, Indonesia telah berhasil mengekspor pulp sebanyak 3.745.385,137 ton. Tingkat ekspor pulp yang besar di Indonesia turut berkontribusi dalam menyumbangkan devisa negara. Tahun 2013, Indonesia telah berhasil memperoleh devisa sebesar US\$ 1.1845.814.92. Perkembangan ekspor dan nilai ekspor di Indonesia pada tahun 2009-2013 tersaji pada **Tabel I.1**.

Tabel I.1 Perkembangan Ekspor, Impor dan Produksi Pulp Tahun 2009-2013 di Indonesia

Tahun	Produksi Pulp (Ton)	Ekspor (Ton)	Nilai (US\$)
2009	4.687.038,78	2.243.968,917	867.236.134
2010	5.437.724,42	2.572.338,903	1.465.940.916
2011	6.178.359,00	2.933.915,991	1.554.610.336
2012	5.437.724,42	3.196.288,917	1.545.399.745
2013	4.617.552,30	3.745.385,137	1.845.814.927



Tahun	Impor (Ton)	Nilai (US\$)
2009	1.080.000,313	626.926.985
2010	1.233.612,061	1.023.015.875
2011	1.318.667,341	1.189.717.421
2012	1.334.830,342	1.021.445.498
2013	3.858.359,284	1.733.162.786

Sumber : Statistik Kementerian Kehutanan, 2014

Untuk memperkirakan peluang kapasitas produksi pabrik baru yang direncanakan akan dibangun pada tahun 2017, dapat dihitung dari data diatas dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$m1+m2+m3 = m4+m5$$

Dimana :

m1 : nilai impor tahun 2017 (=0)

m2 : produksi pabrik dalam negeri (=0)

m3 : kapasitas pabrik yang akan didirikan (ton/th)

m4 : nilai ekspor tahun 2017 (ton)

m5 : nilai konsumsi dalam negeri tahun 2017 (ton)

Perkiraan konsumsi pulp pada tahun 2017 dihitung dengan persamaan:

$$m5 = P(1-i)^n$$

Dimana:

P = data besarnya impor tahun 2013 (ton)

m5 = Pertumbuhan rata-rata per tahun (%)

i = rata-rata kenaikan impor tiap tahun (%)

n = selisih tahun yang diperhitungkan

Sehingga:

Perkiraan impor pulp tahun 2017

$$m5 = P(1-i)^n$$

$$m5 = 32189670,14 \text{ ton/th}$$



Perkiraan ekspor pulp tahun 2017

$$m_4 = P(1-i)^n$$

$$m_4 = 7117948,497 \text{ ton/th}$$

Maka, dapat dihitung kapasitas pabrik pulp pada tahun 2017 adalah:

$$m_3 = (m_4 + m_5) - (m_1 + m_2)$$

$$= 39307618,64 \text{ ton/th}$$

$$= 40.000.000 \text{ ton/th}$$

Penentuan kapasitas pabrik dapat didasarkan pada pertimbangan untuk memenuhi kebutuhan akan pulp dalam negeri. Dari data perhitungan kapasitas diatas pabrik kami berencana akan memenuhi 0.01% dari seluruh kebutuhan pulp nasional. Sehingga diputuskan bahwa pabrik pulp akan mulai beroperasi dan produksi pada tahun 2017 dengan kapasitas produksi 40.000 ton/th. Pabrik beroperasi secara kontinyu selama 24 jam per hari dan 330 hari per tahun.

Ada beberapa kriteria yang harus dipertimbangkan dalam menentukan lokasi pabrik agar, antara lain: penyediaan bahan baku, pemasaran produk, fasilitas transportasi dan tenaga kerja.

Lokasi pabrik pulp akan direncanakan dibangun di Kabupaten Bondowoso, Jawa Timur. Pertimbangan pemilihan lokasi pabrik di Kabupaten Bondowoso antara lain sebagai berikut:

1. Ketersediaan Bahan Baku

Lokasi pabrik pulp akan direncanakan berdiri di Kabupaten Bondowoso, Jawa Timur dikarenakan Kabupaten Bondowoso memiliki lahan pertanian yang cukup luas. Saat ini pemerintah Bondowoso sedang meningkatkan budidaya bambu di wilayah tersebut. Selain itu, kondisi geografis serta ekologis Kabupaten Bondowoso sangat cocok untuk pertumbuhan jenis tanaman bambu sebagai bahan baku pabrik pulp.



2. Ketersediaan Air

Di Kabupaten Bondowoso terdapat beberapa aliran sungai yang dapat menunjang kebutuhan utilitas air untuk pabrik.

3. Transportasi

Jalur transportasi darat Kabupaten Bondowoso mudah diakses, baik ke arah wilayah Surabaya, ke arah Jawa Tengah maupun ke arah Bali. Hal ini dapat mempermudah transportasi darat maupun laut ke luar Jawa sampai ke luar negeri.

4. Sumber Daya Manusia (SDM)

Indonesia mempunyai tenaga yang ahli dan terampil dalam pengelolaan industri pulp, karena Indonesia telah mempunyai pengalaman yang panjang dalam bidang industri pulp. Disadari bahwa industri pulp di Indonesia telah berdiri pada tahun 1923. Selain itu, adanya Akademi Teknologi Pulp dan Kertas (ATPK) dan perguruan tinggi lainnya mampu mensuplai kebutuhan SDM yang terampil di bidang industri pulp.

5. Faktor penunjang lain

Kondisi geografis Kabupaten Bondowoso sangat mendukung untuk lokasi pendirian pabrik pulp karena lokasinya strategis, memiliki lahan yang luas, tidak begitu padat akan pemukiman maupun industri dan dekat dengan aliran sungai.

I.2 Dasar Teori

Pulp adalah kumpulan serat selulosa dari kayu atau bahan lain yang mengandung lignosellulosa dan dapat diperoleh dari pengolahan mekanis, semi kimia atau kimia. Pulp merupakan bahan dasar untuk berbagai keperluan seperti kertas, karton, papan serat, rayon atau turunan selulosa lainnya (*Departemen Kehutanan, Badan Litbang Hutan Tanaman, 2014*). Bambu merupakan salah satu bahan berlignoselulosa yang menghasilkan selulosa per ha 2-6 kali lebih besar dari pinus. Peningkatan biomassa bambu per hari 10-30%, sementara itu peningkatan biomassa pohon kayu hanya 2,5% (*Fatriasari, 2008*).



Selain itu bambu merupakan salah satu sumberdaya alam yang mudah untuk pengelolaannya sebagai bahan baku substitusi industri pulp dan kertas. Tanaman tersebut memiliki beberapa keunggulan antara lain cepat tumbuh bahkan dalam jangka tiga tahun sudah dapat dipanen, serta sifat anatomi bambu terutama sifat-sifat turunan seratnya lebih baik daripada kayu (Sukatoni, 2004).

Berdasarkan hasil penelitian analisis terhadap morfologi serat, dan sifat fisis-kimia dari keenam jenis bambu yang dilakukan oleh Widya Fatriasari (2008), didapatkan bahwa bambu petung dapat digunakan sebagai bahan baku pulp dan kertas dengan kualitas yang relatif lebih baik dibandingkan dengan kelima jenis bambu lainnya (Bambu andong (*Gigantochloa verticillata* (Wild) Munro), bambu tali/apus (*Gigantochloa apus* (Bl.ex Schult.f.) Kurz.), bambu hitam (*Gigantochloa nigrocillata* Kurz.), bambu ampel (*Bambusa vulgaris*), dan bambu kuning (*Bambusa vulgaris* Schard var. vitata).

Bambu petung (*Dendrocalamus asper* Backer) merupakan jenis bambu yang sangat kuat dan mampu merumpun dengan subur sekali, tingginya dapat mencapai 30 meter dengan diameter batang 20 cm, buku-bukunya menggelembung, akar pendek berkumpul rapat sampai tinggi diatas tanah. Panjang ruasnya 40-50 cm, tebal dinding bulu 1-1,5 cm. Pada umumnya pemanenan bambu ketika usia bambu mencapai tiga tahun (Sukatoni, 2004).



Gambar I.1 Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*)

**Tabel I.2** Komposisi Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*)

No.	Parameter	Kadar
1.	Selulosa	53 %
2.	Pentosan	19 %
3.	Lignin	25 %
4.	Abu	3 %

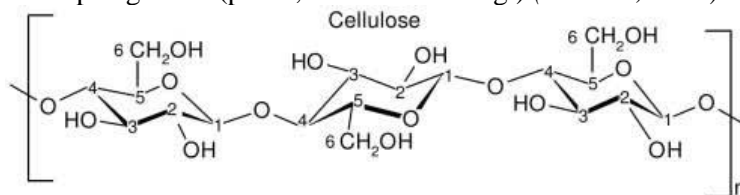
(K.Heyne, 1927)

1. Selulosa

Selulosa merupakan senyawa organik ($C_6H_{10}O_5$) penyusun utama kayu berupa polimer alami yang panjang dan linier terdiri dari residu β -D-glukosa yang dihubungkan oleh ikatan glikosida pada posisi C1 dan C4. selulosa mempunyai sifat antara lain berwarna putih, berserat, tidak larut dalam air dan pelarut organik serta mempunyai kuat tarik yang tinggi. Dalam kondisi asam yang kuat dan konsentrasi alkohol yang berlebih, akan terjadi reaksi etherifikasi selulosa yaitu reaksi antara selulosa dengan alkohol membentuk ether (Artati, 2009). Sifat penting pada selulosa yang penting untuk pembuatan kertas:

1. Gugus aktif alkohol (dapat mengalami oksidasi)
2. Derajat polimerisasi (serat menjadi panjang).

Makin panjang serat, kertas makin kuat dan tahan terhadap degradasi (panas, kimia dan biologi) (Junaedi, 2011).

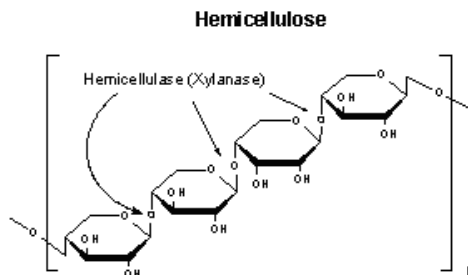
**Gambar I.2** Struktur Selulosa

2. Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan salah satu penyusun dinding sel tumbuhan yang terdiri dari kumpulan beberapa unit gula/heteropolisakarida dan dikelompokkan berdasarkan residu



gula utama sebagai penyusunnya seperti xilan, mannan, galactan dan glucan. Hemiselulosa mempunyai berat molekul rendah dibandingkan dengan selulosa dan terdiri dari D-xilosa, D-mannosa, D-galaktosa, D-glukosa, L-arabinosa, 4-O-metil glukoronat, D-galakturonat dan asam D-glukoronat (Anindyawati, 2010).



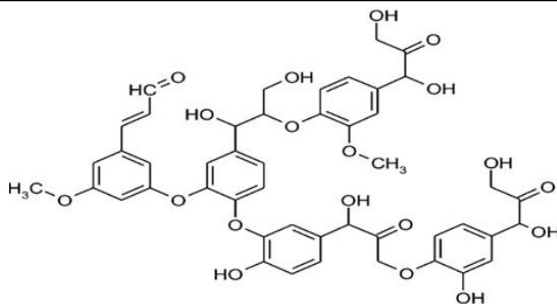
Gambar I.3 Struktur Hemiselulosa

3. Pentosan

Pentosan adalah bagian dari hemiselulosa yang terdapat dalam dinding sel. Kadar pentosan pada bambu petung sebesar 19% (**Tabel 1.2**). Rendahnya pentosan menyebabkan serat lebih mudah dibentuk secara mekanis dan kontak antar serat dapat lebih sempurna karena salah satu sifatnya yang elastis dan dapat mengembangkan serat. Kandungan pentosan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerapuhan benang rayon atau turunan selulosa yang dihasilkan (Pasaribu, 2005).

4. Lignin

Lignin merupakan bagian terbesar dari selulosa. Penyerapan sinar (warna) oleh pulp terutama berkaitan dengan komponen ligninnya. Untuk mencapai derajat keputihan yang tinggi, lignin tersisa harus dihilangkan dari pulp, dibebaskan dari gugus yang menyerap sinar kuat sesempurna mungkin. Lignin akan mengikat serat selulosa yang kecil menjadi serat-serat panjang. Lignin tidak akan larut dalam larutan asam tetapi mudah larut dalam alkali encer dan mudah diserang oleh zat-zat oksida lainnya (Artati, 2009).



Lignin

Gambar I.4 Struktur Lignin

5. Abu

Kadar abu yang tinggi tidak diharapkan dalam pembuatan pulp karena dapat mempengaruhi kualitas kertas. Komponen abu yang diserap pohon dari tanah sebagai unsur mikro, mengharuskan unsur ini dikembalikan lagi ke tanah melalui pemupukan atau pemberian abu (*Pasaribu, 2005*).

I.3 Kegunaan

Pulp yang dihasilkan dengan proses *acetocell* dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan produk kertas fungsional seperti :

- Kertas budaya terdiri atas : kertas koran, kertas tulis cetak dan, kertas berharga (kertas untuk saham, kertas perangko, dll).
- Kertas tissue terdiri atas : kertas tissue rumah tangga dan kertas sigaret.
- Kertas industri : kertas glasin dan kertas tahan minyak, kertas berlapis (laminated), kertas perkamen.

I.4 Sifat Fisika dan Kimia

I.4.1 Bahan Baku Utama

Spesifikasi tanaman bambu petung adalah sebagai berikut:



Domain : Eukaryota
Kingdom : Plantae
Subkingdom : Viridaeplantae
Phylum : Tracheophyta
Kelas : Liliopsida
Ordo : Poales
Famili : Poaceae
Genus : Dendrocalamus
Spesies : asper
Nama : Dendrocalamus asper
(Ibrahim, 2013)

Sifat fisika tanaman bambu petung adalah sebagai berikut :

- Tinggi tanaman dapat mencapai ± 30 m
 - Diameter batang ± 20 cm (Buku-bukunya menggelembung)
 - Akar pendek berkumpul rapat sampai tinggi diatas tanah
 - Panjang ruasnya 40 - 50 cm
 - Tebal dinding bulu 1 – 1,5 cm
 - Pemanenan bambu ketika mencapai usia 3 tahun
 - Panjang serat 4-5 mm
 - Berat jenis $0,51 \text{ gr/cm}^3$
 - Berwarna putih - kuning
- (Sukatn, 2004)

Tabel I.3 Komposisi Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*)

No.	Parameter	Kadar
1.	Selulosa	53 %
2.	Pentosan	19 %
3.	Lignin	25 %
4.	Abu	3 %

(K.Heyne, 1927)

Sifat kimia tanaman bambu petung adalah sebagai berikut :

**Tabel I.4** Sifat Kimia Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*)

No.	Parameter	Kadar
1.	Kelarutan dalam air dingin	4,5 %
2.	Kelarutan dalam air panas	6 %
3.	Kelarutan dalam 1% NaOH	22 %
4.	Kelarutan dalam etanol benzene	1 %

(K.Heyne, 1927)

Beberapa sifat unsur kimia penyusun bahan baku berserat, baik kayu maupun non kayu adalah sebagai berikut :

a. Selulosa

- Wujud : Polimer padat
- Warna : Putih
- Spesifik gravity : $1,61 \text{ g/cm}^3$
- Rumus molekul : $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$
- Kapasitas panas : $0,32 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$
(Perry's, 1997) dan (MSDS)

b. Hemiselulosa

- Larut dalam alkali encer dan air panas
- Terhidrolisa oleh asam-asam encer menjadi furfural
(Muladi, 2013)

c. Lignin

- Larut dalam larutan NaOH
- Kurang larut dalam air
- Reaktif karena mengandung gugus karboksi, metoksil dan karbonil
(Muladi, 2013)

I.4.2 Bahan Baku Pendukung

a. Asam asetat (CH_3COOH)

- Wujud : Liquid
- Berat molekul : $60,05 \text{ g/mol}$



- Densitas : 1,049 g/m³ (fase cair) dan 1,266 g/cm³ (fase padatan)
- Titik Lebur : 16,6 °C (61,9 °F)
- Titik Didih : 118.1°C (244.6°F)
- Keasaman : 4,76 pada 25 °C
- Kelarutan dalam air : 100%
(MSDS, Acetic Acid) dan (Wikipedia, Asam Asetat, 2014)

b. Peroksida (H₂O₂)

- Korosif
- Tidak berwarna
- Tidak berbau
- Oksidator kuat
- Titik didih : 108°C (226.4°F)
- Titik lebur : -33°C (-27,4°F)
- Volatility : 100%
- Kelarutan dalam air : 100%
- pH : 2,02 (H₂O₂ 50 %) Temperatur : 21 °C (70 °F)
- Tekanan uap : 3,1 kPa (@ 20°C) = 23,25 mmHg

(MSDS, Peroxide)

c. Natrium Hidroksida (NaOH)

- Padatan kristal berwarna putih
- Titik didih : 1388°C (226.4°F)
- Titik lebur : 318°C (-27,4°F)
- Spesifik gravity : 2,13
- Kelarutan dalam air : Mudah larut dalam air dingin
- pH : 13,5

(MSDS, NaOH)



I.4.3 Produk

I.4.3.1 Produk Utama (pulp)

Adapun sifat pulp dari serat bambu petung yang dihasilkan dengan larutan pemasak asetat 90% adalah sebagai berikut :

- Wujud : Padatan
- Bentuk : Lembaran
- Warna : Putih
- Yield : 46 %
- Suhu : 100 °C
- Freenes : 375 ml
- Densitas : 0,6 g/cm³
- Burst Index : 2,7 kPa.m²/g
- Breaking Length : 4,9 km
- Brightness : 34,6 %
- Tear index : 4,8 (mN.m²/g)

(Sano, 1999)

I.4.3.2 Produk Samping (Black Liquor)

Produk samping yang dihasilkan adalah black liquor. Komposisi bahan kimia yang terkandung dalam black Liquor adalah CH₃COOH, Aseto-Ligninat, dan lain – lain. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan *Econotech* bahwa di dalam black liquor terdapat logam-logam yang diantaranya merupakan logam berbahaya. Keberadaan logam-logam tersebut jika melewati ambang batas maka dapat mencemari lingkungan (TPL, 2002).

BAB II

MACAM DAN URAIAN PROSES

II.1 Macam Proses

Pulp adalah produk dari pemisahan serat pada kayu atau serat tumbuhan lainnya, selain itu pulp juga merupakan hasil tengah pada pembuatan kertas untuk buku maupun kertas untuk papan. Jika kayu merupakan bahan baku utama yang mengawali sebuah proses, maka kayu tersebut harus direduksi ukurannya sesuai ukuran yang dibutuhkan sebelum proses pembuatan pulp, baik berupa gulungan maupun kepingan (*Casey, 1984*).

Macam pembuatan pulp bertujuan untuk mendapatkan serat selulosa yang murni terlepas satu sama lain dalam bentuk suspensi serat. Pulp dapat dihasilkan dari serabut selulosa dan digunakan dalam industri kertas dan selulosa lain beserta derivat-derivatnya, misalnya : *rayon viscos*, *cellulose nitrat*, *cellulose asetat* dan *carboxylmethyl cellulose*.

Pada dasarnya proses pembuatan pulp ada empat macam, yaitu :

1. Proses mekanis
 2. Proses semi kimia
 3. Proses kimia
 4. Proses organosolvent
- (Casey, 1984)*

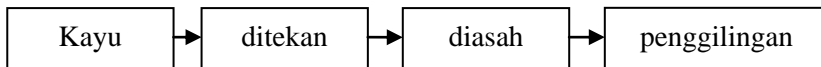
II.1.1 Proses Mekanis

Pada proses mekanis terdapat empat hal yang saling berhubungan namun berbeda prosesnya. Keempat proses tersebut merupakan dasar dari proses mekanis dan biasanya dikenal dengan istilah : *Stone Ground Wood (SGW)*, *Refiner Mechanical Pulping (RMP)*, *Thermo Mechanical Pulping (TMP)*, *Chemi Mechanical Pulping (CMP)*, dan *Chemi Thermo Mechanical Pulping (CTMP)* (*Casey, 1984*).



II.1.1.1 Stone Ground Wood (SGW)

Menurut J.Biermann (1996), proses ini menggunakan batu gerinda untuk menguraikan bahan baku. Kayu gelondongan yang tidak berkulit (panjang 60-120 cm, terutama kayu lunak, tetapi juga tidak keras) ditekan pada sisi yang panjang sejajar dengan batu asah yang berputar, sedang air disemprotkan pada bagian yang mengasah. Gesekan menaikkan suhu dalam daerah pengasahan hingga 150-190⁰C hingga melenturkan komponen lignin kayu. Berkas-berkas serat, serat-serat dan kelompok serat yang tersobek dari permukaan kayu dan diangkut ke arah rongga-rongga pengasah. Teori yang pasti apa yang terjadi dalam pengasahan belum diketahui, tetapi umumnya diterima bahwa prosedur meliputi pelepasan serat permukaan kayu oleh kekasaran batu asah dan sekaligus menggiling serat-serat atau berkas-berkas serat menjadi unit-unit kecil. Rendemen yang diperoleh antara 93-98%. Kekuatan dan derajat putih pulp yang dihasilkan rendah. Energi dan air yang diperlukan cukup banyak.



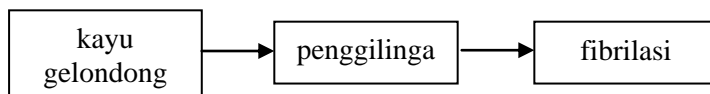
Gambar II.1 Diagram Alir Stone Groundwood (SGW)

II.1.1.2 Refiner Mechanical Pulping (RMP)

Menurut J.Biermann (1996), proses ini menggunakan penggilingan cakram (disk refiner) untuk menguraikan bahan baku pulp. Kayu jarum merupakan bahan baku utama untuk proses ini. Pada umumnya untuk semua proses penggilingan mekanik terdapat dua operasi dasar yang dilakukan selama penggilingan: pelepasan kayu menjadi serat-serat tunggal dan berkas serat, dan fibrilasi yang meliputi perubahan serat-serat menjadi unsur-unsur fibriler. Ada dua jenis tipe dasar refiner yang digunakan untuk proses ini, yaitu *single-disc refiner* dan *double-disc refiner*. Pengaturan posisi cakram refiner, pola cakram, konsistensi inlet pulp dan energi spesifik yang diberikan pada serpih, merupakan faktor-faktor yang penting yang berpengaruh



terhadap kualitas pulp yang dihasilkan. Proses ini juga menggunakan serbuk gergaji (*saw dust*) atau kayu-kayu berkualitas rendah.



Gambar II.2 Diagram Alir *Refiner Mechanical Pulping*

II.1.1.3 Thermo Mechanical Pulping (TMP)

Menurut J.Biermann (1996), proses ini mirip dengan proses *refiner mechanical pulping*, yaitu menggunakan penggilingan cakram untuk menghasilkan bahan baku. Namun ada perbedaan utama yang membedakan kedua proses tersebut, yaitu pada proses *thermo mechanical pulping*, serpih mendapat perlakuan suhu dan tekanan tinggi sebelum masuk ke dalam penggilingan cakram. Proses dasar meliputi impregnasi dan langkah pemanasan pendahuluan terhadap serpih kayu yang dicuci dengan uap jenuh dibawah tekanan. Kemudian serpih-serpih yang diperlakukan awal ini dimasukkan ke dalam tahap pemanasan pendahuluan. Tahap penggilingan kedua biasanya dilakukan pada tekanan atmosfer. Oleh karena itu bahan yang telah dilepas seratnya telah terekspansi ke dalam satu atau dua tahap untuk memperoleh derajat giling yang diinginkan. Bahan-bahan yang tidak lolos dari penggilingan dan penyaringan disatukan dan didaur ulang dengan langkah penggilingan atau digiling secara terpisah. Pemberian suhu tinggi tersebut mengakibatkan pelunakan komponen lignin dan penghilangan komponen yang mudah larut dalam air dan komponen yang mudah menguap. Rendemen yang diperoleh pada proses ini lebih rendah dibandingkan dengan proses ini lebih rendah dibandingkan dengan proses mekanis biasa, namun memiliki sifat fisik yang lebih kuat.



II.1.1.4 Chemi Mechanical Pulping (CMP)

Menurut J.Biermann (1996), proses *semi mechanical pulp* adalah perkembangan dari refiner mechanical pulp yang diperlakukan dengan bahan kimia pada temperatur ruangan. Bahan kimia yang paling sering digunakan adalah sodium sulfit, NaOH, Na_2CO_3 dan sodium peroxide dalam bentuk tunggal atau pun dalam campuran. Hanya 2-6% bahan kimia yang digunakan dari berat kayu, dan sampai 50% bahan kimia yang ditambahkan bereaksi dengan pulp tanpa melarutkan selulosa kayu. Yield tidak boleh dibawah 90% jika yang dibutuhkan adalah kualitas pulp yang bagus. Beberapa jenis kayu keras, yang tidak cocok diproses dengan SGW atau TMP, sangat cocok menggunakan proses ini yang saat ini sangat mungkin untuk menghindari hilangnya bahan baku saat proses produksi.

II.1.1.5 Chemi Thermo Mechanical Pulping (CTMP)

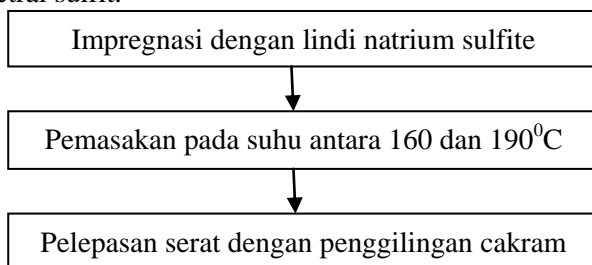
Menurut J.Biermann (1996), dalam suatu proses kimia-mekanika yang digambarkan belum lama ini digunakan serpih-serpih yang dihancurkan untuk menaikkan efisiensi impregnasi. Dalam proses ini komersil variasi perlakuan pendahuluan sulfit dan bisulfit dilakukan terutama terhadap kayu lunak dan perlakuan pendahuluan natrium hidroksida/natrium sulfit terhadap kayu keras. Natrium bisulfit (pada pH 4-6) merupakan bahan kimia yang cocok sebagai perlakuan pendahuluan, yang menyebabkan sulfonasi lignin. Proses ini merupakan perkembangan dari proses Thermo Mechanical Pulping. Pada proses ini selain digunakan panas untuk melunakkan lignin, juga diberikan sedikit bahan kimia agar komponen lignin lebih mudah dihilangkan.

II.1.2 Proses semi kimia

Menurut J.Biermann (1996), proses ini merupakan gabungan dari proses mekanik dan proses kimia. Tahap awal dari proses ini adalah pengolahan bahan baku dengan menggunakan bahan kimia untuk memutuskan ikatan lignin, selulosa, kemudian



dilanjutkan dengan pengolahan kimia. Contoh proses ini adalah proses pemasakan pulp secara netral sulfit dengan menggunakan Na_2SO_3 yang mengandung larutan buffer untuk menetralkan asam-asam organik yang terbentuk pada pemanasan sampai 120°C atau lebih. Fungsi buffer adalah untuk mencegah korosi, menaikkan rendemen dan mengurangi waktu pemasakan. Contoh buffer adalah campuran NaOH dengan Na_2CO_3 atau Na_2S dengan Na_2SO_4 . Buffer yang sering digunakan adalah NaHCO_3 karena menghasilkan pulp dengan warna lebih baik dan dengan pemakaian bahan kimia yang lebih sedikit. Proses semi kimia yang lain adalah proses alkali dingin yaitu perendaman bahan baku dalam larutan NaOH pada suhu kamar dan tekanan atmosfer. Brightness kertasnya lebih rendah dibandingkan dengan proses netral sulfit.



Gambar II.3 Diagram Alir Proses Semi Kimia

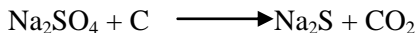
II.1.3 Proses Kimia

Menurut J.Biermann (1996), tujuan pembuatan pulp dengan proses kimia adalah untuk merusak dan melarutkan zat pengikat serat yang terdiri dari lignin, pentosa dan lain-lain. Proses pemasakan bahan baku dengan larutan kimia dilakukan di dalam digester. Selama pemasakan lignin bereaksi dengan larutan kimia pemasak dan membentuk senyawa-senyawa terlarut yang mudah dicuci dan sebagian dari selulosanikut bereaksi juga. Hal ini akan menurunkan rendemen pulp yang dihasilkan. Berdasarkan bahan kimia yang digunakan untuk pemasakan, pembuatan pulp dengan bahan kimia dapat dibedakan menjadi tiga macam proses yaitu :

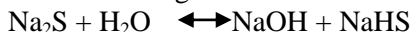


II.1.3.1 Proses Sulfat

Pada proses sulfat larutan pemasak yang digunakan adalah sodium hidroksida dan sodium sulfite, dimana sodium hidroksida dihasilkan dari reduksi sulfat selama proses incenerasi dengan reaksi:



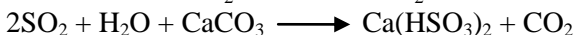
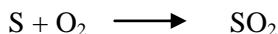
Dan sodium hidroksida dihasilkan dari hidrolisa sodium sulfite didalam air dengan reaksi :



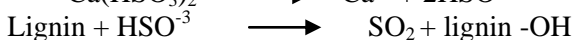
NaHS berfungsi sebagai buffer dan akan mengurangi efek degradasi selulosa oleh NaOH. Pengaruh NaHS yang penting adalah reaksi dengan lignin yang menghasilkan thio-lignin yang mudah larut dalam alkali, sehingga butuh waktu pemasakan yang lebih singkat dan temperatur dapat diturunkan sekitar 160-170⁰C. Serat yang dihasilkan sangat baik tapi warnanya jelek, sehingga proses ini digunakan untuk membuat kertas berkekuatan tinggi seperti kantong semen dan kertas bungkus.

II.1.3.2 Proses Sulfit

Proses ini menggunakan bahan kimia aktif, yaitu asam sulfit, kalsium bisulfit, sulfur dioksida yang dinyatakan dalam larutan $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$ dengan H_2SO_3 berlebih. Bahan baku yang biasa digunakan biasanya kayu lunak dan larutan pemasaknya yaitu SO_2 dan $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Reaksi pembuatan larutan pemasak adalah :



Lignin yang terikat pada selulosa akan bereaksi dengan larutan $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$ membentuk lignin sulfonat dengan reaksi sebagai berikut :





II.1.3.3 Proses Soda / Alkali

Proses ini digunakan untuk bahan baku non kayu seperti bagasse, jerami, eceng gondok, dan jenis rumput-rumputan yang lain. Larutan pemasak yang digunakan adalah NaOH dan selama proses pemasakan, larutan NaOH berfungsi sebagai :

- a. Pereaksi lignin
- b. Pelarut senyawa lignin dan karbohidrat
- c. Pereaksi asam-asam organik dan resin yang ada dalam bahan baku
- d. Adsorben serat dalam jumlah kecil

II.1.4 Proses Organosolvent

Organosolv pulping adalah proses pulping dengan menggunakan bahan pelarut organik seperti methanol, alcohol, acetone, asam asetat, dll untuk menghilangkan kadar lignin. Proses pulping tersebut memiliki beberapa kelebihan yaitu ramah lingkungan dan tidak menghasilkan limbah sulfur. Proses organosolv memiliki proses recovery limbah yang sederhana dengan peralatan konstruksi yang standart (*J.Biermann, 1996*).

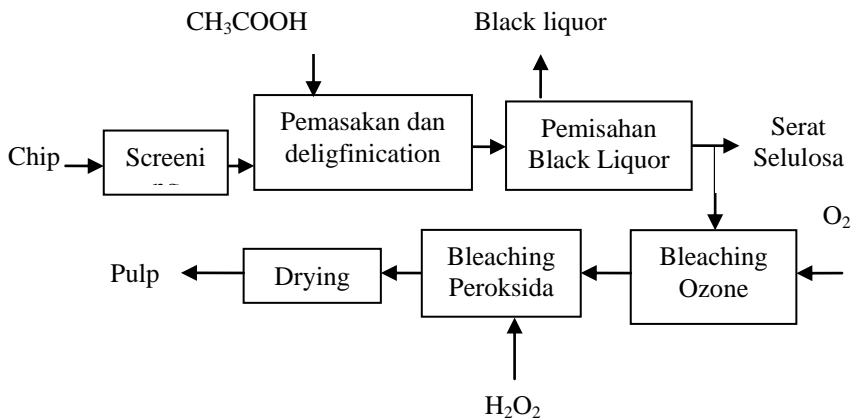
II.1.4.1 Proses Acetosolv

Pada proses ini menggunakan asam asetat sebagai pelarut organik dan HCl sebagai katalis. Chip sebelum masuk ke dalam proses pemasakan discreening terlebih dahulu. Pada proses screening, chip yang belum sesuai dengan ukuran dikembalikan lagi ke proses cutter. Setelah dari proses pemasak kemudian masuk ke proses pemisahan. Dalam proses pemisahan dihasilkan selulose dan black liquor diolah lanjut sebagai bahan baku boiler, sedangkan selulose lanjut ke proses bleaching, drying, dan menjadi pulp. Proses bleaching ada 2 tahap, yaitu : bleaching menggunakan ozon lalu bleaching menggunakan peroksida (*Muurinen, 2000*).



II.1.4.2 Proses Acetocell

Proses acetocell sama dengan proses acetosolv, yang membedakan pada proses ini tidak menggunakan katalis asam kuat yaitu HCl yang dapat menimbulkan korosi pada alat ketika proses katalis beroperasi. Jadi, proses pulping menggunakan asam asetat saja sebagai pelarutnya. Proses ini dalam pengolahan pulp memiliki beberapa keunggulan, antara lain : bebas senyawa sulfur, daur ulang limbah dapat dilakukan hanya dengan metode penguapan dengan tingkat kemurnian yang cukup tinggi, dan nilai hasil daur ulangnya jauh lebih mahal dibandingkan dengan hasil daur ulang limbah kraft (Muurinen, 2000).



Gambar II.4 Proses Acetocell

II.1.4.3 Proses Alcell

Proses Alcell sama seperti proses acetocell, perbedaanya terletak pada pelarut. Proses ini menggunakan pelarut jenis alkohol (metanol, etanol, propanol, dll) (Muurinen, 2000)..

II.2 Seleksi Proses

Seleksi proses pada proses pembuatan pulp didasarkan pada pertimbangan kelebihan dan kekurangan macam-



macam proses seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, sehingga adapat disimpulkan dalam tabel seperti di bawah ini :

Tabel II.1 Kondisi Operasi dari Berbagai Macam Proses Pembuatan Pulp

Macam Proses	Kondisi Operasi				
	Yield (%)	Suhu (°C)	pH	Waktu Operasi	Energi (kWh/ton)
1. Mekanis					
- SGW	95-97	160	-	-	800-1500
- RMP	96-97	140	-	-	1200-2200
- TMP	92-94	130	-	2-3 menit	1400-1900
- CMP	>90	30	4-6	1,5-2 jam	2000-2500
- CTMP	85-95	70	4-6	1-2 jam	2000-2500
2. Semi Kimia (NSSC)	75-85	160-180	7-10	15-60 menit	2600-3000
3. Kimia					
- Sulfit	43-48	125-	1-2	3-7 jam	2600-3000
- Sulfat	45-55	143	13-14	1-2 jam	2600-3000
- Soda/alkali	50-70	165-175 155-175	13-14	0,5-3 jam	2600-3000
4. Organosolv					
- Acetosolv	40	110	-	2-5 jam	-
- Acetocell	43-46	170	-	3-5 jam	-
- Alcell	43	180	-	5 menit tiap stage	780

(J.Biermann, 1996)

Tabel II.2 Kelebihan dan Kekurangan Masing-Masing Proses

No.	Proses	Keuntungan	Kerugian
1.	Mekanis	1. Ramah lingkungan 2. Didapatkan serat yang banyak	1. Kekuatan pulp rendah 2. Pulp tidak dapat disimpan lama



			3. Memerlukan energi yang cukup besar
2.	Semi kimia	1. Bahan kimia dapat di daur ulang 2. Menghasilkan serat yang kuat 3. Pulp mudah diputihkan	1. Tidak ramah lingkungan
3.	Kimia	1. Berbagai jenis kayu dapat diolah 2. Biaya operasi murah 3. Menghasilkan serat yang kuat 4. Proses sederhana	1. Tidak ramah lingkungan 2. Warna pulp putih 3. Proses delignifikasi kurang sempurna
4.	Organosolvent	1. Rendemen pulp yang dihasilkan tinggi 2. Daur ulang lindi hitam mudah 3. Tidak menggunakan unsur sulfur sehingga ramah lingkungan 4. Pengoperasian yang ekonomis	-

II.3 Uraian Proses Terpilih

Proses pembuatan pulp dari bambu petung ini dilakukan dengan proses *organosolv* jenis *acetocell*, yakni dengan penambahan larutan CH_3COOH tanpa katalis HCl , karena proses ini ramah lingkungan, kebutuhan energi yang relatif rendah, serta



dapat meningkatkan rendemen dan kualitas pulp. Pada proses ini dilakukan melalui beberapa tahapan :

1. Tahap Pre-Treatment
2. Tahap pemasakan
3. Tahap pemutihan
4. Tahap post treatment

II.3.1 Tahap Pre-Treatment

Pembuatan pulp dari bahan bambu petung memerlukan *pre-treatment* (proses pengolahan awal) sebelum masuk ke proses pemasakan. Proses ini bertujuan untuk mengubah ukuran bambu menjadi chip atau serpihan kayu. Bahan baku yang berupa bambu petung dari hasil penebangan disimpan pada gudang penyimpanan pada suhu 32°C. Syarat bahan baku bambu petung yang berusia minimal 3 tahun.

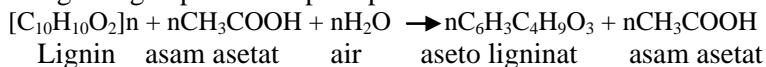
Dari gudang penyimpanan, bambu petung diangkut oleh *belt conveyor* menuju *drum chipper* untuk dicacah menjadi serpihan dengan ukuran tebal serpih ± 6 mm. Chip yang lolos akan dibawa menuju *bursk disk screen* sedangkan chip yang tidak lolos akan dibawa menuju ke *solid waste*. Chip tersebut memasuki *screening* yang bertujuan untuk memisahkan chip-chip yang berukuran standar dengan yang tidak memenuhi ukuran standar berdasarkan klafisikasi chip tersebut. Selanjutnya chip akan masuk ke dalam tahap pemasakan.

II.3.2 Tahap Pemasakan

Chip yang telah melalui proses pre-treatment kemudian dibawa menuju Tangki Impregnasi dengan tujuan agar bahan kimia Asam Asetat 90% masuk ke pori melalui struktur kapiler bambu. Selanjutnya chip dimasak menggunakan Pandia Digester pada temperatur 170 °C selama ± 180 menit dalam tekanan 7,6 atm. Pada proses pemasakan, degradasi dari lignin menyebabkan selulosa yang sebelumnya terikat oleh lignin akan terlepas dari lignin sehingga didapat kandungan pulp dengan kadar selulosa



yang lebih tinggi. Mekanisme reaksi pemasakan serta degradasi alang-alang dapat dilihat pada persamaan reaksi berikut:



Pemasakan dilakukan dengan menggunakan Pandia digester yang bersifat *continuous*. Setelah pemasakan selesai, pulp yang dihasilkan dialirkan ke dalam *blow tank* dengan membuka katup pada jalur pulp yang akan dihembuskan dari digester ke blow tank. Kemudian pulp dipompa ke *washer* untuk tahap pemutihan.

II.3.3 Tahap Pemutihan

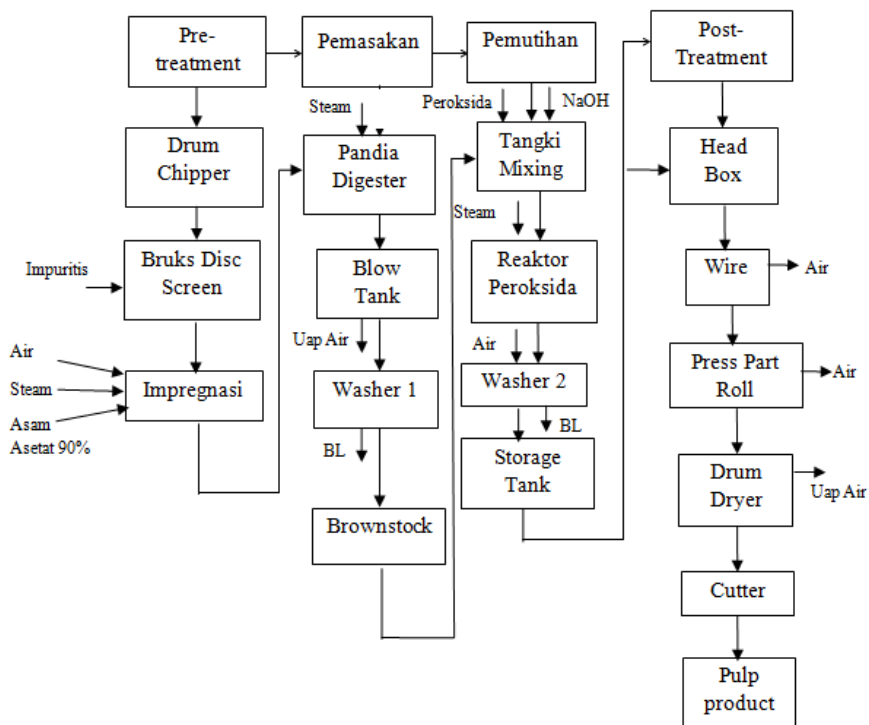
Bleaching dilakukan dalam beberapa tahap dengan tujuan menghilangkan lignin tanpa merusak selulosa. Bubur pulp dari proses pemasakan selanjutnya masuk ke dalam tangki *mixing* untuk memutihkan pulp dengan cara mencampur larutan H_2O_2 2,5% dan NaOH 1,25% dengan bubur pulp dengan konsistensi 10%. Kemudian pulp direaksikan di dalam reaktor pada temperatur 80°C. Setelah itu bubur pulp dipompa menuju *rotary vacuum filter*. Filtrat hasil washing ditampung dalam bak penampung untuk selanjutnya masuk ke proses pengolahan limbah. Bubur pulp yang telah dicuci dibawa menuju ke *storage tank*.

II.3.4 Tahap Post Treatment

Bubur yang sudah siap dibuat pulp dikirim ke *head box*. Dari *head box* pulp dicetak menjadi lembaran diatas wire yang mempunyai ukuran kasa 70 mesh. Keluar dari *wire part* kadar air 42%. Lembaran pulp kemudian dilewatkan ke proses *press part roll* ditekan untuk menurunkan kadar ambil dalam lembaran pulp sampai 22% berat terhadap pulp. Kemudian pulp menuju *drum dryer*. Keluar dari dryer, lembaran pulp memiliki kadar air 10% berat terhadap pulp. Kemudian pulp menuju ke cutter untuk membentuk pulp berupa lembaran-lembaran pulp.



II.4 Blok Diagram Proses



BAB III NERACA MASSA

Kapasitas produksi : 40.000 ton/tahun = 121.212,12 kg/hari
 Operasi : 330 hari /tahun, 24 jam /hari
 Satuan massa : kg
 Basis waktu : 1 hari

Untuk kapasitas 121.212,12 kg pulp dibutuhkan bahan baku sebesar 263.504,61 kg (yield 46%) dengan data komposisi bambu petung sebagai berikut :

Tabel III.1 Komposisi Bambu Petung

Kandungan	Presentase	Bahan Baku	Jumlah
Selulosa	53	263504,61	139.657,44
Pentosan	19	263504,61	50.065,88
Lignin	25	263504,61	65.876,15
Abu	3	263504,61	7905,13
Jumlah	100		263.504,61

(K.Heyne, 1927)

I. Tahap Pre-Treatment

I.1 Belt Conveyor

Fungsi : Memindahkan bahan dari gudang penyimpanan bambu menuju drum chipper

Tabel III.2 Neraca Massa pada Belt Conveyor

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 1</u>		<u>Aliran 2</u>	
Selulosa	139.657,44	Selulosa	139.657,44
Pentosan	50.065,88	Pentosan	50.065,88
Lignin	65.876,15	Lignin	65.876,15
Abu	7.905,14	Abu	7.905,14
Jumlah	263.504,61	Jumlah	263.504,61



I.2 Drum Chipper

Fungsi : Untuk mencacah batang bambu menjadi serpihan bambu

Tabel III.3 Neraca Massa pada Drum Chipper

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 2</u>		<u>Aliran 3</u>	
Selulosa	139.657,44	Selulosa	139.657,44
Pentosan	50.065,88	Pentosan	50.065,88
Lignin	65.876,15	Lignin	65.876,15
Abu	7.905,14	Abu	7.905,14
Jumlah	263.504,61	Jumlah	263.504,61

I.3 Bruks Disc Screen

Fungsi : Memisahkan chip-chip yang berukuran standar dan yang Tidak memenuhi standar untuk selanjutnya dibawa menuju *solid waste*

Tabel III.4 Neraca Massa pada Bruks Disc Screen

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 3</u>		<u>Aliran 4</u>	
Selulosa	139.657,44	Selulosa	1.396,57
Pentosan	50.065,88	Pentosan	500,66
Lignin	65.876,15	Lignin	658,76
Abu	7.905,14	Abu	79,05
		<u>Aliran 5</u>	
		Selulosa	138.260,87
		Pentosan	49.565,22
		Lignin	65.217,39
		Abu	7.826,09
		Jumlah lolos	260.869,57
Jumlah	263.504,61	Jumlah	263.504,61



II. Tahap Pemasakan

II.1 Tangki Pengenceran CH_3COOH 90%

Fungsi : Untuk membuat larutan CH_3COOH 90%

Tabel III.5 Neraca Massa pada Tangki Pengenceran CH_3COOH 90%

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 6</u>		<u>Aliran 8</u>	
CH_3COOH	234.783,0	CH_3COOH	234.783,0
Air	9.782,6	Air	26.087
<u>Aliran 7</u>			
Air Proses	16.304,38		
Jumlah	260.870,0	Jumlah	260.870,0

II.2 Tangki Impregnasi

Fungsi : Mencampurkan bahan dengan larutan CH_3COOH 90%. dengan tujuan agar bahan kimia Asam Asetat 90% masuk ke pori melalui struktur kapiler bambu.

Tabel III.6 Neraca Massa pada Tangki Impregnasi

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 5</u>		<u>Aliran 9</u>	
Selulosa	138.260,9	Air	16.304,38
Pentosan	49.565,2	Black Liquor :	
Lignin	65.217,39	CH_3COOH +	
Abu	7.826,09	Air	260.870,00
<u>Aliran 7</u>		Abu yang hilang	6.260,87
Air Proses	16.304	<u>Aliran 10</u>	
<u>Aliran 8</u>		Selulosa	138.260,87
CH_3COOH	234.783,00	Pentosan	49.565,22
Air	26.087,00	Lignin	65.217,39
		Abu	1.565,22
Jumlah	538.043,9	Jumlah	538.043,94



II.3 Pandia Digester

Fungsi : Mengubah serpihan bambu petung menjadi bubur pulp

Jenis : Continous Digester

Tabel III.7 Neraca Massa pada Pandia Digester

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 10</u>		<u>Aliran 11</u>	
Selulosa	138.260,9	Selulosa	138.260,87
Pentosan	49.565,2	Pentosan	4.956,52
Lignin	65.217,39	Lignin	5.217,39
Abu	1.565,22	Abu	0,00
<u>Aliran 7</u>		Air Proses	16.304,38
Air Proses	16.304	Black Liquor :	
		CH ₃ COOH	212.560,8
<u>Aliran 8</u>		Air	19.420,3
CH ₃ COOH	234.783,00	Pentosan Sisa	44.608,70
Air	26.087,00	Abu	1.565,22
		Aseto Ligninat	66.666,67
		CH ₃ COOH	22.222,22
		Sisa	
Jumlah	531.783,1	Jumlah	531.783,07

II.4 Blow Tank

Fungsi : Menyimpan bubur pulp dan melepaskan uap air

Tabel III.8 Neraca Massa pada Blow Tank

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 11</u>		<u>Aliran 13</u>	
Selulosa	138.260,87	Selulosa	138.260,87
Pentosan	4.956,52	Pentosan	4.956,52
Lignin	5.217,39	Lignin	5.217,39



Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Black Liquor : Pentosan Sisa Aseto	44.608,70	Black Liquor : Pentosan Sisa	44.608,70
Ligninat	66.666,67	Aseto Ligninat	66.666,67
CH ₃ COOH	212.560,78	CH ₃ COOH	212.560,78
Air	19.420,33	Air	12.773,0
CH ₃ COOH		CH ₃ COOH	
Sisa	22.222,22	Sisa	22.222,2
Abu	1.565,22	Abu	1.565,22
		<u>Aliran 12</u>	
		Uap Air	6.647,3
Jumlah	515.478,70	Jumlah	515.478,70

II.5 Heat Exchanger

Fungsi : Mengubah uap air yang di lepaskan oleh blow tank menjadi air proses

Tabel III.9 Neraca Massa pada Heat Exchanger

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 12</u>		<u>Aliran 16</u>	
Uap Air	6.647,29	Air	6.647,29
Jumlah	6.647,29	Jumlah	6.647,29

II.6 Washer 1

Menurut J.Biermann (1996), black liquor merupakan sisa liquor dari proses pulping setelah proses tersebut selesai. Dalam black liquor terkandung paling banyak senyawa inorganik terdegradasi yang digunakan selama proses pulping , dan juga substansi kayu yang terlarut.

Fungsi : Mencuci serat pulp dari black liquor

Jenis : Rotary Vacuum Filter

**Tabel III.10** Neraca Massa pada Washer 1

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 13</u>		<u>Aliran 18</u>	
Selulosa	138.260,87	Selulosa	135.495,65
Pentosan	4.956,52	Pentosan	4.857,39
Lignin	5.217,39	Lignin	5.113,04
Black Liquor :		Air pada pulp	25.896,45
Pentosan Sisa	44.608,70	<u>Aliran 17</u>	
Aseto		Black Liquor :	
Ligninat	66.666,67	Pentosan Sisa	44.608,70
Asam Asetat	212.560,78	Aseto Ligninat	66.666,67
Air	12.773,04	Asam Asetat	212.560,78
CH ₃ COOH		CH ₃ COOH	
Sisa	22.222,2	Sisa	22.222,22
Abu	1.565,2	Abu	1.565,2
<u>Aliran 16</u>			
Air proses	1.282.049,45	Selulosa	2.765,22
		Lignin	104,3
		Pentosan	99,13043478
		Air	1.268.926,05
Jumlah	1.790.880,86	Jumlah	1.790.880,86

II.7 Brownstock

Fungsi : Menyimpan hasil serat pulp dan siap untuk proses bleaching

**Tabel III.11** Neraca Massa pada Brown Stock

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 18</u>		<u>Aliran 19</u>	
Selulosa	135.495,65	Selulosa	135.495,65
Pentosan	4.857,39	Pentosan	4.857,39
Lignin	5.113,04	Lignin	5.113,04
Air pada pulp	25.896,45	Air	4.010.707,83
<u>Aliran 16</u>		-	
Air Proses	3.984.811,38		
Jumlah	4.156.173,91	Jumlah	4.156.173,91

III. Tahap Pemutihan (*Bleaching*)

III.1 Tangki Pengenceran Hidrogen Peroksida (H_2O_2)

Fungsi : Untuk membuat Hidrogen Peroksida (H_2O_2) 2,5%

Tabel III.12 Neraca Massa pada Tangki Pengenceran H_2O_2 2,5%

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 20</u>		<u>Aliran 22</u>	
H_2O_2	4.156,17	H_2O_2	4.156,17
Air	7.718,61	Air	162.090,78
<u>Aliran 21</u>			
Air Proses	154.372,17		
Jumlah	166.246,96	Jumlah	166.246,96

III.2 Tangki Pengenceran NaOH

Fungsi : membuat larutan NaOH 1,25%



Tabel III.13 Neraca Massa pada Tangki Pengenceran NaOH 1,25%

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 23</u>		<u>Aliran 25</u>	
NaOH	2.078,09	NaOH	2.078,09
Air	2.251,26	Air	164.168,87
<u>Aliran 24</u>			
Air Proses	161.917,61		
Jumlah	166.246,96	Jumlah	166.246,96

III.3 Tangki Mixing

Fungsi : Mencampurkan bahan pulp dengan air, H_2O_2 dan NaOH

Tabel III.14 Neraca Massa pada Tangki Pencampuran

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 19</u>		<u>Aliran 27</u>	
Selulosa	135.495,65	Selulosa	135.495,65
Pentosan	4.857,39	Pentosan	4.857,39
Lignin	5.113,04	Lignin	5.113,04
Air	4.010.707,83	Air	37.461.673,57
		H_2O_2	4.156,17
<u>Aliran 22</u>		NaOH	2.078,09
H_2O_2	4.156,17		
Air	154.372,17		
<u>Aliran 25</u>			
NaOH	2.078,09		
Air	161.917,61		
<u>Aliran 26</u>			
Air Proses	33.134.675,96		
Jumlah	37.613.373,91	Jumlah	37.613.373,91



III.4 Reaktor Peroksida

Fungsi : Mereaksikan pulp dengan bahan-bahan kimia

Tabel III.15 Neraca Massa pada Reaktor Peroksida

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 27</u>		<u>Aliran 28</u>	
Selulosa	135.495,65	Selulosa	135.495,65
Pentosan	4.857,39	Pentosan	2.914,43
Lignin	5.113,04	Lignin	3.067,83
Air	37.461.673,57	Air	37.461.673,57
H ₂ O ₂	4.156,17	H ₂ O ₂	4.090,43
NaOH	2.078,09	NaOH	2.045,22
		Lignin Sisa	2.045,22
		Pentosan Sisa	1.902,86
		H ₂ O ₂ [S]	65,74
		NaOH [S]	32,87
		(C ₁₀ H ₁₀ O ₂)Na	
		[S]	27,48
		H ₂ O [S]	5,35
		O ₂ [S]	4,75
		HO[S]	2,52
Jumlah	37.613.373,91	Jumlah	37.613.373,92

III.5 Washer 2

Fungsi : Mencuci bubur pulp dari black liquor

Jenis : Rotary Vacuum Filter

Tabel III.16 Neraca Massa pada Washer 2

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 28</u>		<u>Aliran 31</u>	
Selulosa	135.495,65	Selulosa	132.905,24
Pentosan	2.914,43	Pentosan	2.856,15
Lignin	3.067,83	Lignin	3.006,47



Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
Air	37.461.673,57	Air pada pulp	756.614,15
H ₂ O ₂	4.090,43	<u>Aliran 30</u>	
NaOH	2.045,22	Black Liquor :	
Lignin Sisa	2.045,22	H ₂ O ₂	4.090,43
Pentosan		NaOH	2.045,22
Sisa	1.902,86	Lignin Sisa	2.045,22
H ₂ O ₂ [S]	65,74	Pentosan Sisa	1.902,86
NaOH [S]	32,87		
(C ₁₀ H ₁₀ O ₂)		H ₂ O ₂ [S]	65,74
Na[S]	27,48	NaOH [S]	32,87
H ₂ O [S]	5,35	(C ₁₀ H ₁₀ O ₂)Na	
	4,75	[S]	27,48
O ₂ [S]		H ₂ O [S]	5,35
HO[S]	2,52	O ₂ [S]	4,75
<u>Aliran 29</u>		HO[S]	2,52
Air Proses	369.033,91	Air	37.074.093,33
		Selulosa	2.709,91
		Lignin	61,36
		Pentosan	58,29
Jumlah	37.982.407,83	Jumlah	37.982.407,68

III.6 Storage Tank

Fungsi : Untuk menampung bubur pulp yang telah di washer 2

Tabel III.17 Neraca Massa pada Storage Tank

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 31</u>		<u>Aliran 33</u>	
Selulosa	132.905,24	Selulosa	132.905,24
Pentosan	2.856,15	Pentosan	2.856,15
Lignin	3.006,47	Lignin	3.006,47
Air pada pulp	756.614,15	Air	786.351,18



Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 32</u>			
Air Proses	29.737,03		
Jumlah	925.119,03	Jumlah	925.119,03

IV. Tahap Post Treatment

IV.1 Head Box

Fungsi : Membentuk bubur pulp menjadi lembaran di atas wire part

Tabel III.18 Neraca Massa pada Head Box

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 33</u>		<u>Aliran 34</u>	
Selulosa	132.905,24	Selulosa	132.905,24
Pentosan	2.856,15	Pentosan	2.856,15
Lignin	3.006,47	Lignin	3.006,47
Air	786.351,18	Air	786.351,18
Jumlah	925.119,03	Jumlah	925.119,03

IV.2 Wire Part

Fungsi : Mengurangi kadar air hingga 42%

Tabel III.19 Neraca Massa pada Wire Part

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 34</u>		<u>Aliran 36</u>	
Selulosa	132.905,24	Selulosa	132.905,24
Pentosan	2.856,15	Pentosan	2.856,15
Lignin	3.006,47	Lignin	3.006,47
Air	786.351,18	Air	100.487,07
		<u>Aliran 35</u>	
		Air	685.864,11
Jumlah	925.119,03	Jumlah	925.119,03



IV.3 Press Part Roll

Fungsi : Untuk menurunkan kadar air dalam lembaran pulp sampai 22%

Tabel III.20 Neraca Massa pada Press Part Roll

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 36</u>		<u>Aliran 38</u>	
Selulosa	132.905,24	Selulosa	132.905,24
Pentosan	2.856,15	Pentosan	2.856,15
Lignin	3.006,47	Lignin	3.006,47
Air	100.487,07	Air	39.139,65
		<u>Aliran 37</u>	
		Air	61.347,42
Jumlah	239.254,92	Jumlah	239.254,92

IV.4 Dryer

Fungsi : Untuk mengurangi kadar air pulp hingga 10%

Tabel III.21 Neraca Massa pada Dryer

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 38</u>		<u>Aliran 40</u>	
Selulosa	132.905,24	Selulosa	132.905,24
Pentosan	2.856,15	Pentosan	2.856,15
Lignin	3.006,47	Lignin	3.006,47
Air	39.139,65	Air	15.418,65
		<u>Aliran 39</u>	
		Air	23.721,00
Jumlah	177.907,51	Jumlah	177.907,51



IV.5 Cutter

Fungsi : Untuk membuat lembaran pulp

Tabel III.22 Neraca Massa pada Cutter

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 36</u>		<u>Aliran 38</u>	
Selulosa	132.905,24	Selulosa	132.905,24
Pentosan	2.856,15	Pentosan	2.856,15
Lignin	3.006,47	Lignin	3.006,47
Air	23.721,00	Air	23.721,00
Jumlah	162.488,86	Jumlah	162.488,86

BAB IV NERACA PANAS

Kapasitas produk : 40.000 ton/tahun = 121.212,12 kg/hari
 Operasi : 330 hari /tahun, 24 jam /hari
 Satuan massa : kkal/hari
 Temperatur referen : 25°C

1. Tangki Impregnasi

Fungsi : Mencampurkan bahan dengan larutan CH_3COOH 90%.
 dengan tujuan agar bahan kimia Asam Asetat 90% masuk ke pori
 melalui struktur kapiler bambu.
 Suhu bahan masuk = 30°C

Tabel IV.1 Neraca Panas pada Tangki Impregnasi

Masuk		Keluar	
Q5	406.289,99	Q9	1.390.679,56
Q7	19.458,87	Q10	4.400.320,33
Q8	65.649,55	Qloss	278.966,53
Qsupply	5.578.568,01		
Jumlah	6.069.966,42	Jumlah	6.069.966,42

2. Pandia Digester

Fungsi : Mengubah serpihan bambu petung menjadi bubur pulp
 Jenis : Continous Digester
 Suhu bahan masuk = 80°C

Tabel IV.2 Neraca Panas pada Pandia Digester

Masuk		Keluar	
Q10	4.400.320,33	Q11	19.076.749,94
Q7	899.955,52	Qloss	530.100,10
Q8	1.819.597,86		
ΔH Reaksi	1.886.423,40		
Qsupply	10.600.552,92		
Jumlah	19.606.850,03	Jumlah	19.606.850,03



3. Blow Tank

Fungsi : Menyimpan bubur pulp dan melepaskan uap air

Suhu bahan masuk = 170°C

Tabel IV.3 Neraca Panas pada Blow Tank

Masuk		Keluar	
Q11	16.288.834,30	Q12	1.136.632,30
		Q13	15.152.202,01
Jumlah	16.288.834,30	Jumlah	16.288.834,30

4. Heat Exchanger

Fungsi : Sebagai alat perpindahan panas

Suhu bahan masuk = 170°C

Tabel IV.4 Neraca Panas pada Heat Exchanger

Masuk		Keluar	
Q12	1.136.632,30	Q15	7.933,37
Q14	14.216,16	Q16	1.142.915,08
Jumlah	1.150.848,46	Jumlah	1.150.848,46

5. Heat Exchanger Washer 1

Fungsi : Sebagai alat perpindahan panas

Suhu bahan masuk = 30°C

Tabel IV.5 Neraca Panas pada Heat Exchanger Washer 1

Masuk		Keluar	
Q41 (WP)	1.530.094,15	Q42	57.802.535,47
Qsteam	59.234.574,91	Qloss	2.962.133,59
Jumlah	60.764.669,06	Jumlah	60.764.669,06

6. Washer 1

Fungsi : Untuk mencuci pulp dari black liquor dengan menggunakan air

Suhu bahan masuk = 170°C

**Tabel IV.6** Neraca Panas pada Washer 1

Masuk		Keluar	
Q13	15.152.202,01	Q18	3.786.709,19
Q16	57.802.535,47	Q17	69.168.028,28
Jumlah	72.954.737,47	Jumlah	72.954.737,47

7. Mixer

Fungsi : Untuk mencampurkan bahan pulp dengan air, H_2O_2 dan NaOH

Suhu bahan masuk = $77,61^{\circ}C$

Tabel IV.7 Neraca Panas pada Mixer

Masuk		Keluar	
Q19	213.828.506,52	Q27	381.419.342,39
Q22	779.466,25		
Q25	821.214,73		
Q26	165.990.154,89		
Jumlah	381.419.342,39	Jumlah	381.419.342,39

8. Reaktor Peroksida

Fungsi : Mereaksikan pulp dengan bahan-bahan kimia

Suhu bahan masuk = $35,16^{\circ}C$

Tabel IV.8 Neraca Panas pada Reaktor Peroksida

Masuk		Keluar	
Q27	91.350.482,48	Q28	494.515.346,75
Qsupply	424.367.206,71	Qloss	21.221.260,74
ΔH_{reaksi}	18.918,30		
Q26	165.990.154,89		
Jumlah	515.736.607,49	Jumlah	515.736.607,49

9. Heat Exchanger Washer 2

Fungsi : Sebagai alat perpindahan panas

Suhu bahan masuk = $30^{\circ}C$

**Tabel IV.9** Neraca Panas pada Heat Exchanger Washer 2

Masuk		Keluar	
Qair (WP)	440.432,80	Q29 (Air)	16.638.278,53
Qsupply	17.050.486,59	Qloss	852.640,86
Jumlah	17.490.919,39	Jumlah	17.490.919,39

10. Washer 2

Fungsi : Untuk mencuci pulp dari black liquor

Suhu bahan masuk = 80°C

Tabel IV.10 Neraca Panas pada Washer 2

Masuk		Keluar	
Q28	2.070.488.737,07	Q31	44.100.622,52
Q29	16.666.061,91	Q30	2.043.054.176,46
Jumlah	2.087.154.798,98	Jumlah	2.087.154.798,98

11. Storage Tank

Fungsi : Untuk menampung bubur pulp yang telah di proses

Suhu bahan masuk = 79,90°C

Tabel IV.11 Neraca Panas pada Storage Tank

Masuk		Keluar	
Q31	44.174.712,04	Q33	44.210.202,45
Q32	35.490,40		
Jumlah	44.210.202,45	Jumlah	44.210.202,45

12. Dryer

Fungsi : Untuk mengurangi kadar air pulp hingga 10%

Suhu bahan masuk = 78,25°C

Tabel IV.12 Neraca Panas pada Dryer

Masuk		Keluar	
Q38	4.423.269,19	Q40	4.451.432,55
Qsupply	12.739.191,73	Q39	12.074.068,79
		Qloss	636.959,59
Jumlah	17.162.460,92	Jumlah	17.162.460,92

BAB V

SPESIFIKASI ALAT

1. Belt conveyor

Berdasarkan Perry tahun 1984 untuk bahan baku bambu dengan potongan 2-3 mm belt conveyor yang digunakan yaitu dengan spesifikasi berikut :

- Belt width : 14 in (35 cm)
- Cross sectional area of load : 0,11 ft² (0,010 m²)
- Belt speed : 200 ft/min (normal)
: 300 ft/min (maksimum)
- Belt plies : 3 (minimum)
: 5 (maksimum)
- Belt speed : 200 ft/min (30,5 m/min)

2. Drum Chipper

Berdasarkan Perry tahun 1984 untuk bahan baku Bambu (jenis material : wood-chip shredding) dengan potongan 2-3 mm slicer yang digunakan yaitu dengan spesifikasi berikut :

- Model : RD-24
- Diameter rotor : 24 in (60,96 cm)
- Rpm maksimum : 75-400 rpm
- Lubang screen : 1 in (2,54 cm)
- Kapasitas : 30 ton per hari

3. Bucket elevator

Berdasarkan Perry tahun 1984 untuk bahan baku Bambu dengan potongan 2-3 mm bucket elevator yang digunakan yaitu tipe Spaced-Bucket Centrifugal-Discharge Elevators dengan ukuran bucket 10 x 6 x 6,25 in (254 x 152 x 159 mm) dan dengan jarak bucket sebesar 16 in (406 mm) yang digunakan yaitu dengan spesifikasi berikut :



Bucket elevator dengan center 25 ft (8 m)

- Kapasitas : 45 ton/hari
- Kecepatan bucket : 225 ft/min (68,6 m/mnt)
- Kecepatan kepala poros : 43 r/mnt
- Hp kepala poros : 3,0
- Tambahan hp di tengah : 0,063 hp/ft
- Diameter lubang (shaft) : 1,9375 in (head and tail)
- Diameter katrol : 20 in (head) ; 16 in (tail)
- Luas belt : 11 in

4. Tangki Penampung CH_3COOH

- Fungsi : Menyimpan CH_3COOH
- Bahan : *Carbon steel SA-285 Grade C*
- Bentuk : Silinder vertikal dengan alas datar dan tutup ellipsoidal
- Jenis sambungan : *Single welded butt joint with backing strip*
- Jumlah : 1 unit
- Tekanan : 101,325 kPa
- Temperatur : 30 °C
- Laju alir massa : 38546,62632 kg/jam
- Faktor kelonggaran : 20 %

5. Tangki Pengenceran CH_3COOH 90%

- Fungsi : Mengencerkan CH_3COOH 90%
- Bahan : *Carbon steel SA-285 Grade C*
- Bentuk : Silinder vertikal dengan alas datar dan tutup ellipsoidal
- Jenis sambungan : *Single welded butt joint with backing strip*
- Jumlah : 1 unit
- Tekanan : 101,325 kPa
- Temperatur : 30 °C
- Laju alir massa : 10869,5824 kg/jam



-
- Faktor kelonggaran : 20 %
 - Densitas asam asetat : $1049,2 \text{ kg/m}^3$

6. Tangki Impregnasi

- Fungsi : Agar bahan kimia Asam Asetat 90% dapat masuk ke pori melalui struktur kapiler bambu.
- Bahan konstruksi : *Carbon steel SA-285 Grade C*
- Bentuk : Silinder vertikal dengan alas datar dan tutup *ellipsoidal*
- Jenis sambungan : *Single welded butt joint with backing strip*
- Jumlah : 1 unit
- Tekanan : 7,8 atm
- Temperatur : 30°C
- Laju alir massa : $22418,48246 \text{ kg/jam}$
- Faktor kelonggaran : 20 %
- Densitas asam asetat : $1049,2 \text{ kg/m}^3$

7. Tangki Pengenceran Hidrogen Peroksida 2,5 %

- Fungsi : Mengencerkan H_2O_2 2,5%
- Bahan konstruksi : *Carbon steel SA-285 Grade C*
- Bentuk : Silinder vertikal dengan alas datar dan tutup *ellipsoidal*
- Jenis sambungan : *Single welded butt joint with backing strip*
- Jumlah : 1 unit
- Tekanan : 101,325 kPa
- Temperatur : 30°C
- Laju alir massa : $22418,48246 \text{ kg/jam}$
- Faktor kelonggaran : 20 %

8. Tangki Pengenceran NaOH 1,25 %

- Fungsi : Mengencerkan NaOH 1,25%
- Bahan konstruksi : *Carbon steel SA-285 Grade C*



- Bentuk : Silinder vertikal dengan alas datar dan tutup *ellipsoidal*
- Jenis sambungan : *Single welded butt joint with backing strip*
- Jumlah : 1 unit
- Tekanan : 101,325 kPa
- Temperatur : 30 °C
- Laju alir massa : 22418,48246 kg/jam
- Faktor kelonggaran : 20 %

9. Tangki Mixing Peroksida

- Fungsi : Tempat proses pencampuran bahan kimia
- Bahan konstruksi : *Carbon steel SA-285 Grade C*
- Bentuk : Silinder vertikal dengan alas datar dan tutup *ellipsoidal*
- Jenis sambungan : *Single welded butt joint with backing strip*
- Jumlah : 1 unit
- Tekanan : 101,325 kPa
- Temperatur : 30 °C
- Laju alir massa : 22418,48246 kg/jam
- Faktor kelonggaran : 20 %

10. Brown Stock

- Fungsi : Tempat proses pencampuran bahan kimia
- Bahan konstruksi : *Carbon steel SA-285 Grade C*
- Bentuk : Silinder vertikal dengan alas datar dan tutup *ellipsoidal*
- Jenis sambungan : *Single welded butt joint with backing strip*
- Jumlah : 1 unit
- Tekanan : 101,325 kPa

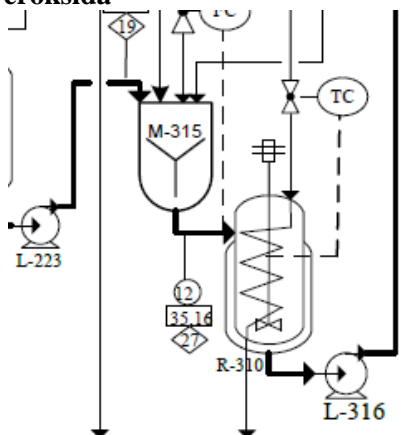


- Temperatur : 30 °C
- Laju alir massa : 22418,48246 kg/jam
- Faktor kelonggaran : 20 %

11. Storage Tank

- Fungsi : Tempat proses pencampuran bahan kimia
- Bahan konstruksi : *Carbon steel SA-285 Grade C*
- Bentuk : Silinder vertikal dengan alas datar dan tutup *ellipsoidal*
- Jenis sambungan : *Single welded butt joint with backing strip*
- Jumlah : 1 unit
- Tekanan : 101,325 kPa
- Temperatur : 30 °C
- Laju alir massa : 22418,48246 kg/jam
- Faktor kelonggaran : 20 %

12. Reaktor Peroksida





Bab V Spesifikasi Alat

Nama	: Reaktor Peroksida
Fungsi	: Memutihkan pulp dengan peroksida.
Jumlah	: 1 unit
Bentuk	: Silinder vertikal berpengaduk dengan tutup atas dan bawah flanged dan standart dished head.
Kapasitas	: 1.567.223,91 kg/jam
Diameter tangki	: 216 in
Tinggi tangki	: 324 in
Tebal tangki	: 1.48 in
Tebal tutup	: 2.5 in
Bahan	: Carbon steel SA-212 grade A
Welded	: Double welded butt joint

Spesifikasi Pengaduk

Tipe	: Dipakai impeller jenis flat six blade turbin with disk
Jumlah	: 1 buah
Diameter	: 64.80 ft
Putaran	: 60 rpm

13. Head Box

Fungsi	: Untuk mendistribusikan fiber (serat bubuk pulp) secara merata ke atas wire
Tekanan	: 1atm
Temperatur	: 31,21 °C
Laju alir massa	: 925.119 kg/hari
Type	: Three-Pass Baffle Headbox
Spesifikasi head box, (<i>Britt, 1970</i>) :	
- Kecepatan alir roll	: 1,5 ft/s
- Diameter roll	: 16 in
- Jumlah roll	: 3 roll
- Ketebalan roll	: 0,25 in
- Kecepatan putar roll	: 30 rpm
- Ketinggian headbox	: 10 m
- Jet Geometry	: 45,95 ft/s
- Jumlah	: 1 unit



14. Dryer

Fungsi	:	Untuk mengeringkan pulp yang keluar dari wire part
Jenis	:	<i>Countercurrent Rotary Dryer</i>
Volume rotary dryer	:	13197,69 ft ³
Luas permukaan dryer	:	11,82 ft ²
Diameter dryer	:	14,98 ft
Panjang dryer	:	74,91 ft
Diameter nozzel	:	0,03 ft
Jumlah putaran	:	2,13 rpm
Waktu tinggal	:	35 menit
Jumlah	:	1 unit

15. Spesifikasi Washer 1

Fungsi : Mencuci bubur pulp dari *black liquor* dengan menggunakan air

Jenis : Rotary Vacuum Filter

Kapasitas	:	74620,00 kg/jam
T operasi	:	77,61 °C
Ketebalan cake	:	13,00 mm
Tahanan filter (Rm)	:	0,00000 m ⁻¹
Rate filtrasi	:	0,89 l filtrat/m ² / jam
Area filtrasi (A)	:	44,77 m ²
Waktu filtrasi (t)	:	261,48 detik
Jumlah	:	1,00 unit

16. Spesifikasi Washer 2

Fungsi : Mencuci bubur pulp dari *black liquor* dengan menggunakan air

Jenis : Rotary Vacuum Filter



Kapasitas	:	1585393,	kg/jam
T operasi	:	70	°C
Ketebalan cake	:	13,00	mm
Tahanan filter (Rm)	:	0,00000	m ⁻¹
Rate filtrasi	:	0,39	l filtrat/m ² / jam
Area filtrasi (A)	:	949,56	m ²
Waktu filtrasi (t)	:	261,48	detik
Jumlah	:	1,00	unit

17. Wire

Fungsi	:	Untuk membentuk bubur pulp menjadi lembaran pulp	
- Tekanan	:	1 atm	
- Temperatur	:	31,21 °C	
- Laju alir massa	:	925.119 kg/hari	
- Type	:	Metal Wire	
- Spesifikasi wire part :			
- Panjang Wire	:	30	m (PT. Riau Andalan Pulp)
- Lebar Wire	:	7,15	m

18. Heat exchanger

Fungsi : Untuk menaikkan suhu air proses dari 30°C menjadi 70°C sebelum menuju ke washer 1

Tube side :

Number and length	:	12, 8'0"
OD, BWG, Pitch	:	1 ¼ in. OD tube on 1 in, Square pitch
Passes	:	2

Shell side :

ID	:	12 in
Baffle space	:	2,004
Passes	:	1



19. Blow tank

Fungsi : menyimpan pulp dan mengeluarkan gas

laju alir massa	21478,28	kg/jam
waktu operasi	30	hari
jam operasi	24	jam/hari
jumlah	1	unit
bentuk	Silinder dengan tutup alas conical dan tutup bawah datar	
volume tangki	67231 m ³	
volume larutan	56026,31087 m ³	
tinggi tangki	60,96 m	
tebal shell tangki	¾ in	
tebal tutup tangki	¾ in	

20. Pandia Digester**Spesifikasi :**

Fungsi : Mengubah serat tandan kosong kelapa sawit menjadi bubur pulp dan terjadi proses delignifikasi

Type : Continuous Pandia Digester

Kapasitas : 762,50 cuft

Bahan Konstruksi : 316 Stainless Steel

Diameter Tube :

- Inside Diameter : 18 in

- Outside Diameter : 20 in

Panjang Tube : 180 in

Jumlah Tube : 1332

Screw in Tube :

- Bahan Konstruksi : 316 Stainless Steel

- Power : 2 hp



- Kecepatan : 8 rpm

Rotary Discharge Valve :

- Bahan Konstruksi : 316 Stainless Steel

- Diameter : 18 in

Jumlah : 1 unit

21. Pompa

Fungsi : Memompa pulp menuju ke alat selanjutnya

Tipe : *Centrifugal Pump*

Kapasitas : 3271,48 gpm

Material case : *Cast iron*

Material rotor : *Carbon steel*

Suction pressure : 14,70 psi

Discharge pressure : 14,70 psi

Beda ketinggian : 15 ft

Ukuran pipa : 18 in OD, sch 40

Power pompa : 22 hp

Jumlah : 5 unit

BAB VI UTILITAS

Dalam sebuah pabrik, utilitas merupakan bagian yang sangat penting karena utilitas berhubungan dengan proses industri. Dalam hal ini, utilitas dari pabrik pulp dari bambu betung dengan proses acetocell terdiri atas :

1. Unit Pengolahan Air
Unit ini berfungsi sebagai penyedia kebutuhan air pendingin, air proses, air sanitasi dan air pengisi boiler.
2. Unit Pembangkitan Steam
Unit ini berfungsi sebagai penyedia kebutuhan steam pada proses evaporasi, pemanasan dan supply pembangkitan tenaga listrik.
3. Unit Pembangkitan Tenaga Listrik
Unit ini berfungsi sebagai penyedia kebutuhan listrik bagi alat-alat, bangunan, jalan raya, dan lain sebagainya.
4. Unit Bahan Bakar
Unit ini berfungsi sebagai penyedia kebutuhan bahan bakar bagi alat-alat, generator , boiler, dan sebagainya.
5. Unit Pengolahan Limbah
Unit ini berfungsi sebagai pengolahan limbah pabrik baik limbah cair dan padat yang dihasilkan dari proses dalam pabrik.

VI.1 Sistem Pengolahan Air

Air adalah substansi kimia dengan rumus kimia H_2O , satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom oksigen. Air bersifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau pada kondisi standar, yaitu pada tekanan 100 kPa (1 bar) dan temperatur 273,15 K (0 °C). Zat kimia ini merupakan suatu pelarut yang penting, yang memiliki kemampuan untuk melarutkan banyak zat kimia lainnya, seperti garam-garam, gula, asam, beberapa jenis gas dan banyak macam molekul organik.



Didalam pabrik ini, dibedakan menjadi 2 bagian utama dalam sistem pengolahan air. Bagian pertama adalah unit pengolahan air sebagai unit penyedia kebutuhan air dan unit pengolahan air buangan sebagai pengolah air buangan pabrik sebelum dibuang ke badan penerima air. Kebutuhan air dalam pabrik ini direncanakan diambil dari air sungai di sekitar pabrik. Sedangkan untuk unit pengolahan air buangan akan diproses di *Waste Water Treatment*.

Dalam pabrik ini sebagian besar air dimanfaatkan sebagai air proses dan sebagai media perpindahan energi. Untuk melaksanakan fungsi tersebut, air harus mengalami proses pengolahan terlebih dahulu sehingga pabrik dapat berfungsi dengan optimum, aman dan efisien. Secara umum fungsi air di pabrik ini terbagi dalam beberapa sistem pemakaian, masing-masing mempunyai persyaratan kualitas yang berbeda sesuai dengan fungsi dan kegunaannya. Sistem pemakaian tersebut antara lain adalah :

1. Sebagai air umpan boiler
2. Sebagai air sanitasi
3. Sebagai air pendingin
4. Sebagai air proses

VI.1.1 Air Umpan Boiler

Air umpan adalah air yang disuplai ke boiler untuk dirubah menjadi steam. Sedangkan sistem air umpan adalah sistem penyediaan air secara otomatis untuk boiler sesuai dengan kebutuhan steam. Ada dua sumber air umpan, yaitu

1. Kondensat : steam yang telah berubah fasa menjadi air (mengembun) .
2. Air make up : air baku yang sudah diolah.

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau steam. Air panas atau steam pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Jika



air dididihkan sampai menjadi steam, volumenya akan meningkat sekitar 1.600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga boiler merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik.

Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam pengolahan air umpan boiler adalah:

- Zat – zat penyebab korosi
Korosi dalam ketel disebabkan karena tidak sempurnanya pengaturan pH dan penghilangan oksigen, penggunaan kembali air kondensat yang banyak mengandung bahan-bahan pembentuk karat dan korosi yang terjadi selama ketel tidak dioperasikan.
- Zat penyebab ‘*scale foaming*’
Pembentukan kerak disebabkan adanya kesadahan dan suhu tinggi yang biasanya berupa garam-garam karbonat dan silica (Alerts, G., Santika, S.S., 1987).
- Zat penyebab *foaming*
Air yang diambil kembali dari proses pemanasan biasanya menyebabkan busa [foam] pada boiler, karena adanya zat – zat organik, anorganik dan zat tidak terlarut dalam jumlah besar. Efek pembusaan terutama terjadi pada alkalinitas tinggi.

VI.1.2 Air Sanitasi

Air sanitasi digunakan untuk keperluan mandi, minum, memasak, mencuci, dan sebagainya. Pada dasarnya air sanitasi memiliki standart kualitas air bersih berdasarkan S.K. Gubernur Jawa Timur No. 413/1987, baku mutu air baku harian yaitu:

a. Fisik

- Suhu : Dibawah suhu udara sekitar (25-30°C)
- Warna : Jernih
- Rasa : Tidak berasa
- Bau : Tidak berbau
- Kekeruhan : Kurang dari 1 mgr SiO₂ / liter



b. Kimia

Tabel VI.1 Parameter Kimia Air Sanitasi

No.	Parameter	S.K Gubernur	Satuan
1.	pH	6 – 8.5	
2.	DO(<i>Dissolved Oxygen</i>)	≥ 4	ppm O ₂
3.	Ammonia	0,5	ppm NH ₃ – N
4.	Tembaga	1	ppm Cu
5.	Besi	5	ppm Fe
6.	Mangan	0,5	ppm Mn
7.	Seng	5	ppm Zn
8.	Timbal	0,1	ppm Pb
9.	COD	10	ppm O ₂
10.	Detergen	0,5	ppm MBAS

c. Biologis

Tidak mengandung kuman atau bakteri terutama bakteri patogen.

Untuk memenuhi persyaratan-persyaratan diatas dapat dilakukan proses penjernihan sebelumnya dan untuk bakteriologis (penghilangan bakteri) perlu ditambahkan kaporit (CaOCl₂) sebagai desinfektan yang fungsinya adalah untuk mencegah berkembang biaknya bakteri pada sistem distribusi air sanitasi.

VI.1.3 Air Pendingin

Untuk kelancaran dan efisiensi kerja dari air pendingin, maka perlu diperhatikan persyaratan untuk air pendingin dan air umpan boiler : (Lamb : 302)

Tabel VI.2 Syarat Air Pendingin

No.	Karakteristik	Kadar Maksimum (ppm)	
		Air Boiler	Air Pendingin
1.	Silika	0,7	50
2.	Aluminium	0,01	-
3.	Besi	0,05	-



4.	Mangan	0,01	-
5.	Kalsium	-	200
6.	Sulfat	-	680
7.	Klorid	-	600
8.	<i>Dissolve Solid</i>	200	1000
9.	<i>Suspended Solid</i>	0,5	5000
10.	<i>Hardnes</i>	0,07	850
11.	Alkanitas	40	500

VI.1.4 Air Proses

Air proses adalah air yang digunakan dalam proses pembuatan pulp. Air proses dalam pabrik ini digunakan untuk bahan baku pembuatan steam, proses pencucian (washer) pada *rotary vacuum filter*, dan pengenceran pulp.

Hal yang perlu diperhatikan dalam penyediaan air adalah:

- Alkalinitas
- Keasaman [pH]
- Kekerusuhan
- Warna
- Air yang digunakan tidak mengandung Fe dan Mn

VI.2 Proses Pengolahan Air

Untuk pengolahan air meliputi;

- a. Pengolahan secara fisika, seperti pengendapan suspended solid tanpa koagulan (plan sedimentation), pemisahan atau penyaringan minyak dan kotoran padat lainnya
- b. Pengolahan secara kimia atau klarifikasi terutama untuk memisahkan kontaminan yang terlarut.
- c. Pengolahan secara fisika lanjutan, seperti proses penyaringan/filtrasi, terutama untuk menyempurnakan proses kimia.
- d. Pengolahan khusus yang tergantung pada penggunaannya, seperti;
 - Pelunakan dengan kapur
 - Pelunakan dengan menggunakan kation

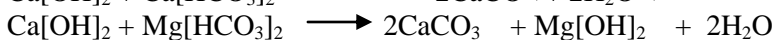
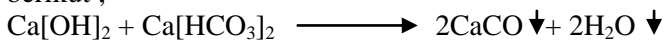


Pengendapan Kotoran

Air yang diambil dari sungai sebelum masuk bak penampung dilewatkan saringan (*strainer*) untuk mengurangi kotoran seperti sampah dan lain – lain. Setelah itu air dilewatkan ke bak *skimming* untuk menyaring kandungan minyak dan air dalam lemak akan mengendap, sedangkan air secara overflow dari bak penampung dialirkan ke pengolahan berikutnya.

Penambahan Bahan Kimia

Pada bak flokulator dengan dengan pengadukan cepat disertai penambahan dengan tawas $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O]$ agar larutan tawas dapat tercampur sempurna dengan air yang diolah. Tujuan penambahan tawas adalah untuk memperbesar ukuran partikel padatan yang sukar mengendap sehingga waktu pengendapan menjadi lebih cepat. Setelah terbentuk gumpalan – gumpalan, air dialirkan ke bak berpengaduk dengan kecepatan lambat (5 – 8 rpm) yang disertai penambahan larutan kapur $[Ca(OH)_2]$. Tujuan pengadukan lambat disini adalah untuk membantu memperbesar flok – flok sehingga menjadi berat. Sedangkan penambahan larutan kapur bertujuan untuk mengikat kesadahan karbonat (diktat utilitas hal III-9). Melalui reaksi berikut ;



Air kemudian dialirkan secara overflow ke bak pengolahan berikutnya.

Penyaringan

Kemudian air mengalir dengan dengan flow rate yang lambat dalam bak sedimentasi atau clarifier agar flok – flok yang sudah terbentuk tidak rusak. Di bak sedimentasi ini air diberi kesempatan untuk mengendap sebaik mungkin. Air jernih dari bagianatas ditampung dalam bak penampung sementara, kemudian dipompa ke sand filter yang berfungsi untuk menangkap partikel – partikel kecil yang tidak dapat diendapkan.

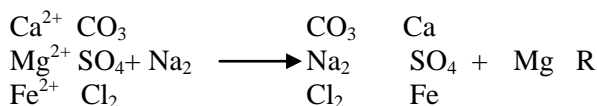


Partikel – partikel tersebut akan tertahan oleh butiran pasir dan kerikil . Air yang lolos merupakan air yang jernih dan dan bersih yang kemudian ditampung dalam bak penampung air bersih. Untuk air sanitasi ditambahkan kaporit sebagai pembunuh kuman. Untuk air proses dapat langsung digunakan, sedangkan untuk air umpan boiler dilakukan demineralisasi pada kation exchanger.

Pengolahan Pelunakan

Ion exchanger terdiri dari kation dan anion exchanger. Pada kation exchanger, ion positif seperti Mg^{2+} dan Ca^{2+} diganti dengan ion Na^{+} dari resin kation $[RNa_2]$, sedangkan pada anion exchanger ion negatif seperti Cl^{-} diikat oleh resin basa kuat $[ROH]$. Reaksi yang terjadi pada reaksi demineralisasi yaitu :

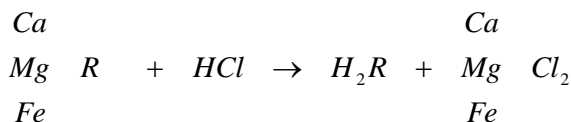
- **Kation exchanger**



Resin akan jenuh setelah bekerja selama 36 jam yang ditunjukkan dengan kenaikan konduktivitas anion, penurunan FMA [*free mineral acid*], kenaikan pH, total hardness lebih besar dari 0.

Untuk efektifitas operasi, unit ini juga dilengkapi dengan fasilitas regenerasi untuk mengembalikan kemampuan resin, yaitu dengan menambahkan larutan HCl ke dalam kation exchanger dan larutan NaOH untuk anion exchanger. Regenerasi yang terjadi yaitu :

Kation exchanger, dengan menggunakan HCl 5%





VI.3 Perhitungan Kebutuhan Air

VI.3.1 Air sanitasi

Untuk keperluan air sanitasi diperlukan air sebanyak 0,2 m³/hari untuk tiap karyawan (*Kemmer.N.Frank., hal 351*).

Jumlah karyawan	:	500	orang
Kebutuhan air untuk 500 karyawan	:	100	m ³ /hari
Cadangan (10%)	:	10	m ³ /hari
Total	:	110	m³/hari

Untuk kebutuhan laboratorium, taman, *service water*, *hydrant* diperlukan air sebanyak 40% dari kebutuhan air sanitasi karyawan.

Kebutuhan lain-lain	:	62	m ³ /hari
Kebutuhan air sanitasi pabrik :		172	m³/hari

VI.3.2 Air Umpan Boiler

Air yang dibutuhkan = steam yang dibutuhkan

Tabel VI.3 Kebutuhan Air Umpan Boiler pada Pabrik

No.	Nama Peralatan	Kebutuhan air (kg/hari)
1.	Tangki Impregnasi	12.709,18
2.	Pandia Digester	24.150,35
3.	Heat Exchanger Washer 1	134.949,14
4.	Reaktor Peroksida	966.800,03
5.	Heat Exchanger Washer 2	38.844,69
6.	Dryer	25.027,88
Total		1.202.481,27

Air umpan boiler yang dibutuhkan = steam yang dibutuhkan :

$$\frac{\text{Rate massa air}}{\rho} = \frac{1.202.481,27}{998,68} = 1.204,07 \text{ m}^3/\text{hari}$$



VI.3.3 Air Proses**Tabel VI.4 Kebutuhan Air Proses pada Pabrik**

No	Nama Peralatan	Kebutuhan Air (kg/hari)
1	Tangki Pengenceran CH_3COOH 90%	16.304,38
2	Tangki Impregnasi	16.304,38
3	Digester	16.304,38
5	Washer 1	1.282.049,45
4	Brownstock	3.984.811,38
6	Tangki Pengenceran H_2O_2 2,5%	154.372,17
7	Tangki Pengenceran NaOH 1,25%	161.917,61
8	Tangki Mixing	33.134.675,96
9	Washer 2	369.033,91
10	Storage Tank	29.737,03
TOTAL		39.165.510,65

Air proses yang dibutuhkan:

$$\frac{\text{Rate massa air}}{\rho} = \frac{39.165.510,65}{998,68} = 39.217,27 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Karena digunakan sistem sirkulasi untuk menghemat air, maka diasumsikan :

90% dari kondensat kembali ke air umpan boiler

Jadi : Air kondensat yang diresirkulasi adalah 80% dari total kondensat

$$= 80\% \times 1.204,07 \text{ m}^3$$

$$= 963,26 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Make up water} &= 1.204,07 - 963,26 \text{ m}^3 \\ &= 240,81 \text{ m}^3 \end{aligned}$$



Air sungai yang diambil dari sungai :

1. air sanitasi	=	172,0	m ³ /hari
2. air umpan boiler	=	1.204,07	m ³ /hari
3. Make up water	=	240,81	m ³ /hari
4. air proses	=	39.217,27	m ³ /hari+
Total	=	40.834,15	m³/hari
	=	1.701,42	m³/jam

VI.4 Steam

Pada pabrik pulp ini, steam mempunyai peranan yang sangat penting. Steam yang digunakan adalah saturated steam.

Kebutuhan steam untuk pabrik pulp adalah sebagai berikut :

Tabel VI.5 Kebutuhan Steam

No.	Nama Peralatan	Kebutuhan air (kg/hari)
1.	Tangki Impregnasi	12.709,18
2.	Pandia Digester	24.150,35
3.	Heat Exchanger Washer 1	134.949,14
4.	Reaktor Peroksida	966.800,03
5.	Heat Exchanger Washer 2	38.844,69
6.	Dryer	25.027,88
Total		1.202.481,27

VI.5 Listrik

Tenaga listrik untuk pabrik ini disuplai oleh jaringan PLN dan sebagai cadangan dipakai generator set untuk mengatasi keadaan bila sewaktu – waktu terjadi gangguan PLN. Kebutuhan listrik untuk penerangan pabrik dapat dihitung berdasarkan kuat penerangan untuk masing – masing ruangan atau halaman di sekitar pabrik yang memerlukan penerangan. Tenaga listrik untuk pabrik ini disuplai oleh dua sumber, yaitu:

- Perusahaan Listrik Negara (PLN), merupakan sumber listrik utama dari pabrik pulp ini.
- Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), digunakan untuk cadangan jika listrik dari PLN padam atau apabila daya dari PLN tidak mencukupi.

BAB VII

KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA

VII.1. Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Secara Umum

Keselamatan kerja adalah segala upaya atau pemikiran yang ditujukan untuk menjamin keutuhan dan kesempurnaan baik jasmani maupun rohani tenaga kerja khususnya dan manusia pada umumnya. Keselamatan kerja dalam pabrik merupakan faktor penting, karena pengabaian terhadap keselamatan kerja dapat mengakibatkan terjadinya hal-hal tidak diinginkan, baik terhadap karyawan maupun peralatan yang digunakan. Dengan terjaminnya kesehatan dan keselamatan kerja dalam pabrik jalannya produksi bisa berjalan dengan lancar.

VII.1.1 Usaha-usaha Keselamatan Kerja

Keselamatan kerja merupakan sarana untuk mengendalikan atau mencegah kecelakaan, kebakaran, penyakit akibat kerja atau hal-hal lain berkaitan dengan lingkungan kerja.

Tujuan keselamatan kerja adalah sebagai berikut :

- Melindungi tenaga kerja atas hak keselamatannya dalam melakukan pekerjaan untuk kesejahteraan hidup.
- Menjamin keselamatan setiap pekerja pada tempat dimana dia kerja.
- Memberikan rasa aman pada setiap pekerja sehingga dapat meningkatkan produktivitas kerja.
- Mengurangi kecelakaan kerja yang menyebabkan cacat, sakit, dan kematian sehingga pembiayaan yang tidak perlu dapat ditekan.

Kerugian-kerugian yang disebabkan kecelakaan antara lain :

- Kerusakan dari peralatan proses
- Keresahan dari pekerja sehingga dapat timbul kekacauan organisasi.
- Berhentinya proses produksi beberapa waktu.
- Timbulnya penyakit, cacat tubuh, dan kematian.



Karena itu keselamatan kerja perlu diperhatikan, baik oleh karyawan maupun pemilik perusahaan. Keselamatan kerja yang dilaksanakan sebaiknya-baiknya dengan partisipasi pengusaha dan karyawan akan membawa kondisi keamanan dan ketenangan kerja sehingga terjadi hubungan baik antara pengusaha dan karyawan yang merupakan landasan kuat bagi terciptanya keselamatan produksi (*P.K.Suma'mur, 1989*).

Menurut UU No. 1 th 1970 yang dimaksud keselamatan kerja yaitu :

1. Agar para pekerja dan orang lain yang berada di lokasi pekerjaan tetap sehat dan selamat.
2. Melindungi sumber-sumber produksi agar terpelihara dengan baik dan dipergunakan secara efisien.
3. Melindungi agar proses produksi berjalan lancar tanpa hambatan apapun.
4. Kesehatan dan keselamatan kerja memerlukan tanggung jawab dari semua pihak karena hal ini tergantung dari Direksi, tingkah laku karyawan, keadaan peralatan atau lingkungan kerja itu sendiri.

Menurut Peraturan Pemerintah No.11 Th. 1979, kecelakaan dibagi menjadi 4 macam , antara lain :

1. Kecelakaan ringan, kecelakaan yang terjadi tetapi tidak menimbulkan hilangnya jam kerja.
2. Kecelakaan sedang, kecelakaan yang terjadi sehingga menimbulkan hilangnya jam kerja tetapi tidak menimbulkan cacat jasmani.
3. Kecelakaan berat, kecelakaan yang terjadi sehingga berakibat fatal dan menyebabkan cacat jasmani.
4. Kecelakaan mati, kecelakaan yang menyebabkan hilangnya nyawa manusia.



VII.1.2 Sebab-sebab Terjadinya Kecelakaan Kerja

Kecelakaan kerja adalah kecelakaan yang terjadi pada seseorang disebabkan bahaya yang berkaitan dengan pekerjaannya. Pada pabrik pulp ini, keselamatan dan kesehatan kerja adalah bagian yang mendapatkan perhatian khusus, oleh karena itu pengabaian keselamatan kerja dapat mengakibatkan kecelakaan kerja. Maka dari itu dilakukan usaha-usaha pencegahan yang bertujuan untuk melindungi tenaga kerja atas hak keselamatannya dalam melakukan pekerjaan, menjamin keselamatan setiap orang yang berada ditempat kerja dan memelihara serta menggunakan sumber produksi secara aman dan efisien.

Secara umum sebab – sebab timbulnya kecelakaan di lingkungan pabrik adalah sebagai berikut :

1. Lingkungan Fisik

Sumber bahaya kecelakaan dari lingkungan fisik meliputi mesin – mesin, peralatan, bahan produksi, lingkungan kerja, penerangan dan lain – lain. Kecelakaan yang terjadi akibat dari :

- Kesalahan perencanaan.
- Aus atau rusaknya peralatan.
- Kesalahan pada waktu pembelian.
- Terjadi ledakan karena kondisi operasi yang tidak terkontrol
- Penyusunan peralatan dan bahan produksi yang kurang tepat
- Lingkungan kerja yang tidak memenuhi persyaratan seperti panas, bising, salah penerangan dan lembab.

2. Manusia (Karyawan)

Kecelakaan yang disebabkan oleh manusia (karyawan), antara lain :

- Kurangnya pengetahuan dan keterampilan karyawan.
- Tidak cocoknya karyawan dengan peralatan atau lingkungan kerja.



- Kurangnya motivasi kerja dan kesadaran karyawan akan keselamatan kerja.

3. Sistem Manajemen

Kecelakaan yang disebabkan oleh manajemen adalah sebagai berikut :

- Kurangnya perhatian manager terhadap keselamatan kerja.
- Kurangnya penerapan prosedur kerja dengan baik.
- Kurangnya pengawasan terhadap kegiatan pemeliharaan dan modifikasi.
- Tidak adanya inspeksi peralatan.
- Kurangnya sistem penanggulangan terhadap bahaya.

Dalam studi ini P.K.Suma'mur (1989) menyatakan bahwa bahaya-bahaya yang mungkin dapat menimpa para pekerja adalah sebagai berikut :

1. Bahaya Fisik

- Kebisingan diatas 95 dB
- Suhu tinggi/rendah
- Penerangan
- Ventilasi
- Tata ruang yang tidak teratur

2. Bahaya Mekanik

- Benda-benda bergerak atau berputar
- Sistem pengamanan tidak bekerja atau tidak terpasang

3. Bahaya Kimia

Bahan-bahan kimia yang dapat membahayakan keselamatan dan kesehatan pekerja adalah bahan-bahan bersifat racun dan dapat merusak kulit bila tersentuh.

4. Bahaya Kebocoran

Kebocoran aliran steam pada proses pembuatan pulp ini merupakan bahaya laten yang harus diwaspadai. Maka dari itu pada perpipaan yang akan dilalui steam hendaknya dilakukan penanganan dan pengawasan khusus. Karena kebocoran pada sistim perpipaan ini akan menimbulkan bahaya yang berakibat fatal, mengingat



steam yang digunakan dalam pabrik ini adalah steam bertekanan dan bersuhu tinggi. Kebocoran juga dapat terjadi pada semua sambungan pipa, tangki-tangki penampung reaktor dan heat exchanger. Maka sebaiknya untuk pipa diletakkan diatas permukaan tanah dan bila terpaksa dipasang dibawah tanah, serta dilengkapi dengan fire stop dan drainage (pengeluaran) pada jarak tertentu untuk mencegah terjadinya kontaminasi.

5. Bahaya Kebakaran dan Ledakan

Dapat terjadi pada hampir semua alat yang dapat disebabkan karena adanya loncatan bunga api, aliran listrik, serta tekanan yang terlalu tinggi.

VII.1.3 Alat-alat Pelindung Diri

Menurut Undang-undang Keselamatan kerja No.1 tahun 1970 dalam buku *P.K.Suma'mur (1989)*, untuk mengurangi kecelakaan akibat kerja, maka perusahaan harus menyediakan alat pelindung diri yang sesuai dengan jenis perusahaannya masing-masin. Alat pelindung diri yang diperlukan pada pabrik pulp antara lain :

1. Pelindung Kepala

Alat pelindung kepala berfungsi untuk melindungi kepala dari jatuhnya alat-alat industri serta benturan-benturan benda keras. Alat yang biasa digunakan adalah :

Safety Helmet : Melindungi kepala dari benturan. Digunakan pada semua unit, kecuali dilaboratorium atau didalam ruangan.

2. Pelindung Mata

Alat pelindung mata dapat melindungi mata dari percikan bahan-bahan korosif, gas atau steam yang dapat menyebabkan iritasi pada mata. Secara umum bentuknya dapat dibedakan atas :

Goggles : kaca mata pengaman terhadap debu.

Digunakan pada unit pre-treatment dan diruang terbuka.



3. Pelindung Telinga

Alat pelindung telinga bekerja sebagai penghalang antar sumber bunyi dan telinga bagian dalam. Selain berfungsi untuk melindungi telinga karena kebisingan yang dapat menyebabkan kehilangan pendengaran sementara maupun permanen, alat pelindung telinga juga dapat melindungi telinga dari percikan api atau semburan gas tekanan tinggi.

- *Ear muff* : Melindungi telinga dari suara bising di atas 95dB. Digunakan disekitar boiler, reaktor digester dan reaktor *bleaching*.
- *Ear plug* : Melindungi telinga dari suara bising kurang dari 95 dB. Digunakan di *press part*, area pompa, dan *dryer*.

4. Pelindung Tangan

Berfungsi untuk melindungi tangan dari bahan-bahan panas, iritasi, korosif, dan arus listrik. Alat yang biasa digunakan adalah:

- Sarung tangan karet : Melindungi tangan dari bahan kimia
- Sarung tangan asbes : Melindungi tangan dari panas. Digunakan disekitar digester, tangki penyimpanan bahan kimia, dan tangki *bleaching*.

5. Pelindung Kaki

Alat ini berfungsi untuk melindungi kaki dari jatuhnya benda-benda keras, terpercik aliran panas dan bahan kimia yang bersifat korosif akibat dari kebocoran pompa/pipa. Alat pelindung kaki ini berupa sepatu yang terbuat dari bahan semi karet. Alat ini digunakan disemua area pabrik.

6. Pelindung Pernafasan

Terdapat dua jenis alat pelindung pernafasan :

- *Full face masker* : Pelindung muka dan pernafasan dari gas-gas kimia. Digunakan disekitar area pemasakan pulp



(digester), tangki *bleaching*, dan tangki penyimpanan bahan kimia.

- *Half Masker* : Melindungi muka dari debu kurang dari 10 mikron dan gas tertentu. Digunakan disekitar area pre-treatment, post treatment, dan pengolahan limbah.

7. Pelindung Badan

Cattle pack berfungsi sebagai pelindung badan dari radiasi panas pada system perpompaan yang mempunyai suhu lebih besar dari 100°C selain itu melindungi badan dari percikan bahan yang korosif dan aliran panas dari kebocoran pompa.

8. Safety Belt

Digunakan untuk pekerja yang bekerja ditempat tinggi dan melindungi diri dari bahaya jatuh. Selain itu pabrik pulp ini dilengkapi dengan fasilitas pemadam kebakaran. Fasilitas pemadam kebakaran antara lain :

- a. Tangki penampung air 1-3, kapasitasnya 300 m^3
- b. Satu *fire jockey pump* bertekanan 3 kg/cm^2
- c. Dua *hydrant pump* bertekanan 7 kg/cm^2
- d. Sebuah *foam tank* bertekanan $1,8\text{ m}^3$
- e. Empat *foam hydrant*
- f. Empat *water hydrant*

VII.2. Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Secara Khusus

VII.2.1 Usaha-Usaha Keselamatan Kerja

Menurut *P.K.Suma'mur (1989)*, untuk menghindari bahaya-bahaya tersebut maka dilakukan usaha-usaha pencegahan dan pengamanan yang sesuai dengan kebutuhan masing-masing unit di pabrik pulp yaitu :

1. Bangunan Fisik

Yang meliputi bangunan pabrik. Hal-hal yang perlu diperhatikan :

- Konstruksi bahan bangunan yang digunakan.
- Bangunan yang satu dengan yang lainnya dipisahkan dengan jalan yang cukup lebar dan tidak ada jalan buntu.



- Terdapat dua jalan keluar dari bangunan.
- Adanya peralatan penunjang untuk pengamanan dari bahaya alamiah seperti petir dan angin.

2. Peralatan yang Menggunakan Sistem Perpindahan Panas

Peralatan yang memakai sistem perpindahan panas harus diberi isolator, misalnya : Boiler, Kondensor, *Heater* dan sebagainya. Disamping itu di dalam perancangan faktor keselamatan (*safety factor*) harus diutamakan, antara lain dalam hal pengelasan (pemilihan sambungan las), faktor korosi, tekanan (*stress*). Hal ini memegang peranan penting dalam mencegah terjadinya kecelakaan kerja, efisiensi dan produktivitas operasional, terutama untuk mencegah kehilangan panas pada alat – alat tersebut. Selain itu harus diupayakan agar suhu ruangan tidak terlalu tinggi dengan jalan memberi ruang (*space*) yang cukup untuk peralatan, mencegah kebocoran steam yang terlalu besar, serta pemasangan alat – alat kontrol yang sesuai.

3. Perpipaan

Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

- Perpipaan diletakkan diatas permukaan tanah agar mudah penanganannya apabila terjadi kebocoran.
- Dipasang *safety valve* untuk mengatasi apabila terjadi kebocoran.
- Dilakukan tes hidrostatik sebelum pipa-pipa dipasang agar tidak terjadi stress yang berlebihan pada bagian-bagian tertentu.

4. Isolasi

Dimaksudkan untuk mencegah terjadinya kebakaran pada instalasi listrik dan sebagai *safety* pada alat-alat yang menimbulkan panas selama proses berlangsung, juga pada kabel-kabel instrumentasi dan kawat-kawat listrik di area yang memungkinkan terjadinya kebakaran dan ledakan.

5. Ventilasi



Fungsi dari ventilasi adalah untuk sirkulasi udara baik didalam ruangan maupun pada bangunan lainnya sehingga keadaan dalam ruangan tidak terlalu panas. Ruang kerja harus cukup luas, tidak membatasi atau membahayakan gerak pekerja, serta dilengkapi dengan sistem ventilasi yang baik sesuai dengan kondisi tempat kerjanya. Hal ini dapat menciptakan kenyamanan kerja serta dapat memperkecil bahaya keracunan akibat adanya gas-gas yang keluar akibat kebocoran, sehingga pekerja dapat bekerja leluasa, aman, nyaman, karena selalu mendapatkan udara yang bersih.

6. Sistem Alarm Pabrik

Sistem alarm pabrik digunakan untuk mendeteksi asap jika terjadi kebakaran atau tanda bahaya sehingga bila terjadi bahaya sewaktu-waktu pada karyawan dapat segera diketahui.

7. Alat-alat Bergerak

Alat – alat berputar atau bergerak seperti motor pada pompa ataupun kipas dalam *blower*, motor pada pengaduk harus selalu berada dalam keadaan tertutup, minimal diberi penutup pada bagian yang bergerak, serta harus diberi jarak yang cukup dengan peralatan yang lainnya, sehingga bila terjadi kerusakan bisa diperbaiki dengan mudah.

8. Sistem Kelistrikan

Penerangan di dalam ruangan harus cukup baik dan tidak menyilaukan agar para pekerja dapat bekerja dengan baik dan nyaman. Setiap peralatan yang dioperasikan secara elektrik harus dilengkapi dengan pemutusan arus (sekring) otomatis serta dihubungkan dengan tanah (*ground*) dalam bentuk arde.

9. Karyawan

Pada karyawan diberi bimbingan dan pengarahan agar karyawan melaksanakan tugasnya dengan baik dan tidak membahayakan keselamatan jiwanya maupun orang lain, serta berlangsungnya proses produksi. Bimbingan berupa kursus-kursus safety dan juga pendisiplinan dalam



pemakaian lat pelindung diri, serta memberikan suatu penghargaan terhadap karyawan teladan .

10. Instalasi Pemadam Kebakaran

Instalasi semacam ini mutlak untuk setiap pabrik karena bahaya kebakaran mungkin terjadi dimanapun, terutama di tempat – tempat yang mempunyai instalasi pelistrikan. Kebakaran dapat disebabkan karena adanya api kecil, kemudian secara tidak terkontrol dapat menjadi kebakaran besar. Untuk meminimalkan kerugian material akibat bahaya kebakaran ini setiap pabrik harus memiliki dua macam instalasi pemadam kebakaran, yaitu :

- Instalasi tetap : *hydran, sprinkel, dry chemical power*
- Instalasi tidak tetap : *fire extinguisher*

Untuk instalasi pemadam tetap perangkatnya tidak dapat dibawa – bawa, diletakkan ditempat – tempat tertentu yang rawan bahaya kebakaran, misalnya : dekat reaktor, boiler, diruang operasi (Operasi Unit), atau *power station*. Sedangkan instalasi pemadam kebakaran tidak tetap perangkatnya dapat dibawa dengan mudah ke tempat dimana saja.

Upaya pencegahan dan penanggulangan kebakaran di pabrik ini adalah :

- Peralatan seperti boiler atau peralatan lain yang mudah terbakar (meledak) diletakkan dibagian bawah serta dijauhkan dari peralatan lain
- Antara unit satu dengan unit yang lainnya diberi jarak yang cukup, tidak terlalu berdekatan untuk menghambat laju api dan memberi ruang yang cukup bagi usaha pemadaman bila sewaktu – waktu terjadi kebakaran.
- Bangunan – bangunan seperti : *workshop* (bengkel perbaikan), *laboratorium quality control*, serta kantor administrasi diletakkan terpisah dari *operating unit* dan *power station*
- Memberlakukan larangan merokok di lokasi pabrik



- Menempatkan instalasi pemadam kebakaran tetap berupa *hydran*, *dry chemical* dan *foam extinguisher* di tempat – tempat yang rawan bahaya kebakaran serta memiliki satu unit kendaraan pemadam kebakaran beserta anggota yang terlatih dan terampil
- Menyediakan tabung – tabung pemadam api disetiap ruangan

VII.3 Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Pada Alat

1. Alat-Alat Utama

❖ Digester dan Tangki Bleaching

- Memberikan alat kontrol dan pengendali berupa temperatur controller, pressure indicator dan level indicator controller agar proses dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan.
- Setiap satu tahun sekali dilakukan shut down untuk membersihkan kerak pada alat maupun pipa-pipa.
- Setiap orang tidak boleh terlalu dekat dengan digester diberikan radius minimal bagi operator serta diberi pagar pembatas dan isolator pada alat.

❖ Washer

- Memasang alat control dan alat pengendali berupa temperatur indikator controller, selain itu dipasang flow indicator controller untuk mencatat dan mengatur debit aliran air pencuci yang diperlukan agar penggunaan air pencuci dapat lebih efektif.
- Selain itu setiap satu tahun sekali dilakukan shut down untuk membersihkan kerak pada alat maupun pipa-pipa.
- Untuk para operator diwajibkan menggunakan alat pelindung tangan dan alat pelindung kaki.

❖ Dryer

- Proses utama pada dryer adalah pengurangan kadar air dari lembaran pulp, selain itu juga banyak steam yang disuplai. Sedangkan kandungan air maupun kondensat yang dihasilkan dapat menyebabkan korosi dan kerak pada alat, maka pencegahannya antara lain dengan



melakukan pembersihan alat dari kerak dan korosi yang dilakukan setiap tahun sekali disaat pabrik shut down.

- Memberikan alat control dan pengendali berupa temperatur controller, pressure indicator, dan level indicator controller agar proses dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan.
- Selain itu pengendalian korosi dapat dilakukan dengan mengolah air kondensat yang akan dimanfaatkan lagi dengan mengontrol kualitas air dari segi kesadahan, pH, alkalinitas, maupun besarnya T hardness, sehingga tidak mengganggu kerja dari dryer sendiri.
- Untuk operator diwajibkan menggunakan alat pelindung kepala, alat pelindung tangan, alat pelindung kaki, dan alat pelindung badan, karena suhu disekitar dryer tinggi.

2. Alat-Alat Pembantu

❖ Tangki Penampung

- Karena bahan yang ditampung berupa slurry yaitu bubur pulp, maka harus dilengkapi dengan sistem pengamanan berupa pemberian label dan spesifikasi bahan.
- Setiap satu tahun sekali dilakukan shut down untuk membersihkan kerak serta pengecekan secara berkala oleh petugas K-3.
- Untuk para operator diwajibkan menggunakan alat pelindung tangan, dan alat pelindung kaki.

❖ Pompa

- Pompa harus dilengkapi dengan penutup pompa dan karakteristik pompa disesuaikan dengan bahan yang akan dialirkan.
- Dilakukan shut down untuk pengecekan secara berkala oleh petugas K-3.

❖ Perpipaan

- Dilakukan pengecatan secara bertahap pada tiap aliran fluida, misalnya fluida panas digunakan pipa bercat merah sedangkan aliran fluida dingin digunakan pipa bercat biru.



- Dilakukan shut down untuk pengecekan secara berkala oleh petugas K-3.
- Penempatan perpipaan harus aman atau tidak mengganggu jalannya proses serta kegiatan dari para pekerja dan karyawan.

❖ **Heat Exchanger**

- Pada area Heat Exchanger harus dilengkapi dengan isolator untuk menghindari radiasi panas tinggi.
- Untuk para operator diwajibkan menggunakan alat pelindung badan, karena suhu disekitar Heat Exchanger sangat tinggi.
- Dilakukan shut down untuk pengecekan secara berkala oleh petugas K-3.

❖ **Boiler**

- Pada boiler mempunyai level suara sampai batas 85 dB maksimal.
- Untuk para operator diwajibkan menggunakan alat pelindung kepala, alat pelindung tangan, alat pelindung kaki, dan alat pelindung badan.
- Dilakukan shut down untuk pengecekan secara berkala oleh petugas K-3.

3. Area Pabrik

- Menyediakan jalan diantara plant satu dengan yang lainnya untuk kelancaran transportasi bahan baku, produk, dan para pekerja serta memudahkan pengendalian pada saat keadaan darurat (misalnya : kebakaran).
- Menyediakan hydrant disetiap plant untuk menanggulangi dan pencegahan awal jika terjadi kebakaran/peledakan.
- Memasang alarm disetiap plant sebagai tanda peringatan adanya keadaan darurat.
- Menyediakan pintu dan tangga darurat yang dapat digunakan sewaktu-waktu pada saat terjadi keadaan darurat.

BAB VIII

ALAT UKUR DAN INSTRUMENTASI

Dalam pengoperasian dan pengendalian alat-alat proses, diperlukan sistem instrumentasi yang dapat mengukur, mengindikasikan, dan mencatat variabel-variabel proses. Variabel proses itu antara lain temperatur, tekanan, laju alir, dan ketinggian. Pengendalian alat-alat proses dipusatkan di ruang kendali, walaupun dapat pula dilakukan langsung di lapangan.

Tujuan dan pemasangan peralatan instrumentasi adalah;

1. Untuk menjaga suatu proses instrumen agar tetap aman
2. Membantu mempermudah pengoperasian alat
3. Menjaga jalannya proses sehingga berada dalam batas operasi yang aman.
4. Mengetahui dengan cepat adanya gangguan, kerusakan dan kesalahan dalam operasi.
5. Menahan biaya produksi serendah mungkin dengan memperhatikan faktor lain
6. Menjaga kualitas produk yang baik dan sesuai dengan standard yang telah ditetapkan.

Sistem pengendalian di pabrik pulp dari bambu petung ini menggunakan *Distributed Control System* (DCS). Sistem ini mempergunakan komputer mikroprosesor yang membagi aplikasi besar menjadi sub-sub yang lebih kecil. Data yang diperoleh dari elemen-elemen sensor diolah dan disimpan. Pengendalian *Programmable Logic Controller* dengan cara mengubah dilakukan dalam data-data tersebut menjadi sinyal elektrik untuk pembukaan atau penutupan *valve*. Untuk melakukan perhitungan matematis yang rumit dan kompleks dibutuhkan *Supervisor Control System* (SCS).

Beberapa kemampuan yang dimiliki oleh SCS adalah :

1. Kalkulasi termodinamik.
2. Prediksi sifat/komposisi produk dan kontrol.
3. Menyimpan data dalam jangka waktu yang panjang.



Dalam sistem pengendalian ada dua variabel proses, yaitu;

1. Variabel utama
yaitu variabel yang sangat penting berpengaruh dan mudah dikendalikan antara lain; tekanan, suhu, tinggi permukaan, dan laju alir.
2. Variabel lain
yaitu variabel yang diharapkan dapat dikendalikan melalui variabel utama. Variabel tersebut antara lain; konsentrasi, pH, kekentalan, dan rapat massa.

Pengendalian variabel proses tersebut dapat dilakukan secara manual maupun secara otomatis. Secara manual biasanya peralatan yang dikontrol hanya diberi instrumen penunjuk saja. Sedangkan untuk instrumen otomatis diperlukan beberapa elemen, yaitu;

- Sensor
Sensor adalah suatu alat yang sangat sensitif terhadap perubahan besaran fisik yang terjadi dalam suatu proses. Besaran fisik tersebut oleh sensor dirubah menjadi besaran lain yang setara dengan perubahan proses.
- Elemen penguat
Elemen tersebut berfungsi sebagai pengubah besaran fisik dari sensor hingga langsung dapat dibaca dan diamati
- *Controller*
Control elemen sering sebagai *controller* adalah alat pengukur yang berfungsi mengatur besaran proses supaya berada pada kondisi yang diinginkan dan menjaga peralatan untuk dapat beroperasi secara optimum sehingga kondisi operasi dapat dipertahankan konstan.
- *Final control*
Final control berfungsi untuk mewujudkan sinyal koreksi dari *controller* menjadi aksi yang dapat mengembalikan kondisi variabel proses ke harga yang telah ditetapkan bila terjadi penyimpangan. Contohnya adalah *valve*.



Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan instrumentasi adalah *sensitivity*, *readability*, *accuracy*, *precision*, faktor ekonomi, bahan konstruksi dan pengaruh pemasangan instrumentasi pada kondisi tertentu.

VIII.1 Alat Instrumentasi Secara Umum

- **Pengatur suhu (temperatur)**

1. *Temperatur controller* (TC)
Berfungsi mengatur temperatur operasi sesuai dengan kondisi yang diminta
2. *Temperatur indicator* (TI)
Berfungsi mengetahui temperatur operasi pada alat dengan pembacaan langsung
3. *Temperatur indicator controller* (TIC)
Berfungsi untuk mencatat dan mengendalikan temperatur operasi

- **Pengaruh tekanan (pressure)**

1. *Pressure Indicator* (PI)
Berfungsi tekanan pada alat secara terus – menerus sesuai dengan kondisi yang diminta
2. *Pressure Controller* (PC)
Berfungsi mengendalikan tekanan operasi sesuai dengankondisi yang diminta
3. *Pressure Indicator Controller* (PIC)
Berfungsi mencatat dan mengatur tekanan dalam alat secara terus – menerus sesuai dengan yang diminta

- **Pengatur aliran (flow)**

1. *Flow Indicator Controller* (FIC)
Berfungsi menunjukkan dan mengalirkan laju aliran dalam suatu peralatan secara kontinyu
2. *Flow Indicator* (FI)
Berfungsi menunjukkan laju suatu aliran dalam suatu peralatan
3. *Flow Controller* (FC)
Berfungsi mengendalikan laju aliran dalam peralatan

4. *Flow Recorder* (FR)

Berfungsi mencatat debit aliran dalam alat secara terus menerus

5. *Flow Recorder Control* (FRC)

Berfungsi untuk mencatat dan mengatur debit aliran cairan secara terus – menerus.

- **Pengatur tinggi cairan**

1. *Level Indicator* (LI)

Berfungsi mengetahui tinggi cairan dalam suatu alat

2. *Level Controller* (LC)

Berfungsi untuk mengendalikan tinggi cairan dalam suatu alat sehingga tidak melebihi dari batas yang ditentukan

3. *Level Indicator Controller* (LIC)

Berfungsi mencatat dan mengatur serta mengendalikan tinggi cairan suatu alat

Alat – alat kontrol yang berada di pasaran sangat beragam, untuk itu diperlukan kriteria yang akan digunakan pada pabrik pulp dari bambu petung ini yaitu;

- Mudah dalam perawatan maupun perbaikan jika terjadi kerusakan.
- Suku cadang mudah diperoleh
- Mudah dalam pengoperasiannya
- Harga lebih murah dan kualitas yang cukup memadai

VIII.2 Sistem Instrumentasi pada Pabrik Pulp dari Bambu Petung

Tabel VIII.1 Sistem Instrumentasi pada Pabrik Pulp dari Bambu Petung

No.	Nama Alat	Kode Alat	Instrumentasi
1.	Tangki Impregnasi	R-211	Temperatur controller [TC] Flow controller [FC]
2.	Pandia Digester	R-210	Temperatur controller [TC] Pressure controller [PC]



3.	Washer 1	H-221	Flowrate controller [FC]
4.	Tangki Mixing	H-315	Flowrate controller [FC]
5.	Reaktor Peroksida	R-310	Level controller [LC] Temperatur controller [TC]
6.	Washer 2	H-318	Flow rate controller [FC]
7.	Storage Tank	F-319	Level indikator [LI]
8.	Dryer	B-410	Temperatur controller [TC] Flow controller [FC]

BAB IX

PENGOLAHAN LIMBAH INDUSTRI KIMIA

Menurut kuliah PLIK dekim (2013) setiap industri dalam aktifitasnya dapat menghasilkan limbah (gas, cair dan padat). Terjadinya limbah cair (air limbah) berasal dari pemanfaatan air bersih yang terkontaminasi oleh bahan pencemar dan aktifitas industri tersebut. Air limbah umumnya berasal dari buangan rumah tangga, perkantoran, pertokoan, perhotelan, rumah sakit dan industri.

Apabila air limbah yang mengandung bahan kimia organik tidak diolah dan dibiarkan terakumulasi, maka kandungan bahan kimia organiknya akan terdekomposisi dan menghasilkan bau yang kurang sedap dan dapat mengandung berbagai jenis mikroorganisme patogenik atau penyebab penyakit.

Metode-metode pengolahan air limbah dikelompokkan menjadi pengolahan-pengolahan primer, sekunder dan tersier (lanjut). Pengolahan primer, misalnya secara fisika seperti penyaringan (*screening*) dan pengendapan (*sedimentation*) digunakan untuk memisahkan zat padat terapung/terendapkan yang terdapat dalam air limbah. Pada pengolahan sekunder, proses-proses dengan dasar reaksi biologi dan kimia digunakan untuk menghilangkan zat-zat organik, zat-zat kimia berbahaya lainnya. Sedangkan pada pengolahan lanjut, kombinasi antara reaksi biologi/kimia dengan operasi secara fisika digunakan untuk menghilangkan zat-zat kimia seperti Nitrogen dan Fosfor yang tidak dapat hilang dengan sempurna pada pengolahan sekunder.

IX.1. Unit Pengolahan Limbah

Semua kegiatan industri mempunyai potensi untuk menimbulkan dampak terhadap lingkungannya. Seperti halnya pabrik pulp yang dalam proses produksinya menghasilkan limbah cair, padat maupun gas. Apabila limbah tersebut tidak diolah terlebih dahulu akan mengakibatkan pencemaran sehingga



menurunkan kualitas sungai dan merugikan ekosistem yang ada disekitarnya.

Unit pengolahan limbah di pembuatan pulp ini mempunyai tujuan untuk :

1. Mengurangi kadar polutan dalam air limbah sehingga tidak menimbulkan pencemaran.
2. Mengurangi pencemaran udara yang ditimbulkan oleh gas buang.
3. Melindungi ekosistem air dari dampak kekurangan oksigen akibat tertutupnya permukaan air oleh limbah.
4. Menghindari timbulnya penyakit atau gangguan kesehatan.
5. Mencegah timbulnya bau yang tidak enak.

Sistem pengolahan limbah dipabrik pulp ini meliputi perlakuan fisik, kimia dan biologi yang terdiri atas 3 tahap yaitu :

1. Tahap Pertama (*Primary Treatment*)

Pada unit ini terjadi pemisahan pencemar dengan cara penyaringan dan pengendapan biasa. Limbah dari plant-plant dialirkan ke *effluent* melalui penyaringan(*screening*) kasar yang terdiri dari 2 tingkat. Selanjutnya limbah dimasukkan kedalam pembersih pasir (*great removal*) dengan diberi gelembung-gelembung udara agar pasir dapat meluap keatas. Limbah yang tidak mengandung pasir tersebut dinetralisasi agar tidak terlalu asam atau basa. Selanjutnya limbah dipompa dengan *effluent pumping pit* untuk diendapkan dalam *primary setting tank* secara gravitasi. *Over flow* nya mengalami *secondary treatment*, sedangkan peralatannya dikeruk dan dialirkan ke proses *dewatering* untuk dijadikan limbah padat.

2. Tahap Kedua (*Secondary Treatment*)

Pada tahap yang kedua limbah mengalami perlakuan biologi dimana tangki-tangki dialiri dengan lumpur yang mengandung mikroorganisme (bakteri) yang akan menguraikan zat-zat organik dalam limbah. Pada unit ini terdapat tangki aerasi



dimana di atas tangki terdapat baling-baling yang berputar dan berfungsi untuk mengalirkan oksigen ke dalam tangki yang bermanfaat bagi mikroorganisme aerob. Serta diberi *nutrient* sebagai nutrisi mikroorganisme untuk berkembang. Setelah proses *secondary treatment*, limbah diendapkan dalam *secondary clarifier* untuk mengendapkan *suspended solid* yang ada. Air overflow yang keluar dari *secondary clarifier* langsung dibuang ke sungai karena sudah merupakan air bersih, sedangkan endapannya dialirkan ketangki aerasi sebanyak 40% dan sisanya dijadikan satu dengan endapan dari *primary settling tank* untuk mengalami *dewatering*.

3. *Dewatering*

Tahap *dewatering* terjadi proses limbah dari bentuk endapan dijadikan bentuk padatan. Proses ini menggunakan alat *bed filter press* yang terdiri dari dua buah *wire* dimana endapan dilewatkan diantaranya. Alat dari endapan tersebut diserap secara vakum dan filtratnya dialirkan kembali ke *primary settling tank*. Limbah yang keluar dari *bed filter press* sudah dalam bentuk padatan dan dibuang ke penimbunan akhir. Limbah ini dapat digunakan untuk kesuburan tanah karena banyak mengandung N,P,K,C yang sangat baik untuk kesuburan tanah.

Bahan kimia yang ditambahkan untuk proses pengolahan limbah yaitu :

1. Alum
Berfungsi untuk memisahkan partikel yang terlarut sehingga terbentuk flok kecil / halus yang mudah berikatan.
2. Polimer
Berfungsi untuk mengikat flok halus dan membentuk flok yang lebih besar sehingga mudah untuk diendapkan. Hal ini dikarenakan berat jenisnya yang lebih besar dari berat jenis air.
3. NaOH dan H₂SO₄



Berfungsi sebagai penstabil pH. Larutan ini hanya ditambahkan apabila air limbah terlalu asam pada pH kurang dari 6 dan basa pada pH lebih dari 8.

4. Urea dan TSP

Berfungsi sebagai nutrient bakteri.

IX.2 Usaha Menangani dan Memanfaatkan Limbah

Dalam kasus ini, industri pulp dengan proses acetocell umumnya menghasilkan limbah berupa :

- Limbah Cair

- Black liquor

Cairan black liquor masih banyak mengandung cairan pemasak asam asetat dan sedikit padatan yang terikut. Untuk memanfaatkan kembali cairan pemasak yang terkandung didalamnya maka didirikan *unit recovery* dengan menggunakan alat destilasi untuk mengolah cairan black liquor agar dapat dimanfaatkan kembali sebagai cairan pemasak di digester.

- Limbah Padat

Sumber – sumber limbah padat dari pabrik pulp ini berasal dari pengotor yang terdapat pada limbah padat agar-agar. Limbah padat agar-agar tersebut banyak mengandung pasir yang harus dihilangkan dalam proses pre-treatment.

IX.3 Dampak yang Ditimbulkan dari Limbah

Dari sekian banyak permasalahan yang timbul, yang paling penting dan yang perlu diperhatikan adalah :

- Penyumbatan

Penyumbatan dipipa, *shower*, *nozzle wire* dan *felt* biasanya terjadi akibat meningkatnya sistem daur ulang dari air bekas. Biasanya masalah ini dapat dihindari dengan menghilangkan kandungan air yang akan didaur ulang.



Selanjutnya seluruh peralatan yang ada dipakai, direncanakan sesuai penggunaannya. Penggunaan *felt* sintesis memungkinkan untuk dapat dilakukan pembersihan secara efektif sehingga masalah mengenai penyumbatan dapat dikurangi. Penyumbatan umumnya dapat disebabkan oleh adanya serat-serat panjang dalam air yang ukurannya 0,3 min.

- Kerak/Deposit

Kerak/deposit terbentuk dari hasil kristalisasi/koagulan bahan-bahan non resin. Kerak merupakan hasil gabungan dari anion karbonat dan sulfat dengan kation Ca, Mg, Fe, dan Ba. Sebagian kerak umumnya hasil dari deposit CaCO_3 dan MgCO_3 . Salah satu cara untuk mengontrol kerak adalah lewat kontrol batas kesadahan air dalam sistem dengan cara membatasi kadar kation. Air yang mengandung senyawa besi dengan mangan dapat menolong pertumbuhan bakteri besi dan mangan sebagai kontribusi terbentuknya deposit.

- Lendir dan bau

Kombinasi antara mikrobicide dan dispersing agent sebagian besar lebih efektif dan ekonomis untuk mengontrol lendir.

- Korosi

Korosi adalah kerusakan logam karena peristiwa elektrokimia atau aktivitas bakteri. Laju korosi dipengaruhi oleh interaksi kompleks dari banyaknya faktor termasuk diantaranya oksigen terlarut, pH, zat padat terlarut seperti klorida dan sulfat, kesadahan, alkalinitas, keasaman, suhu, dan batas konsentrasi. Banyak faktor yang mempengaruhi korosi membuat permasalahan menjadi sulit dan kompleks untuk mengontrolnya. Sebagian besar pabrik mengatasi masalah korosi ini dengan menggunakan bahan stainless steel atau fiber glass. Dalam keadaan aerobik, korosi elektrolisa akan menjadi mudah terjadi, begitupula sebaliknya. Kontrol terhadap bakteri dapat dilakukan dengan pemakaian mikrobicide secara efektif.

BAB X

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan perencanaan “Pabrik Pulp dari Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*) dengan Proses Acetocell”, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Rencana Operasi

Pabrik pulp ini direncanakan beroperasi secara kontinyu selama 330 hari /tahun, 24 jam /hari.

2. Kapasitas produksi

Kapasitas produksi pabrik pulp ini sebesar 40.000 ton/tahun = 121.212,12 kg/hari

3. Bahan baku dan bahan pendukung

- Bahan baku
 - Bahan baku utama pabrik ini adalah Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*)
 - Bahan baku utama yang diperlukan sebesar 263.504,61 kg/hari
- Bahan baku pendukung
 - Asam Asetat
 - H_2O_2
 - NaOH

4. Produk

Produk yang dihasilkan pabrik ini adalah pulp bambu betung dengan kadar air 10 %

5. Utilitas

Air sanitasi	=	172,0	m ³ /hari
Air umpan boiler	=	1.204,07	m ³ /hari
Make up water	=	240,81	m ³ /hari
Air proses	=	39.217,27	m ³ /hari

6. Pengolahan Limbah

Limbah Cair	: black liquor, limbah pencucian bubur pulp
Limbah Padat	: impurities dan pith

DAFTAR PUSTAKA

- Agustini, E. (2014). Strategi Pengembangan Daya Saing Industri Agro (IKM) dalam Mendukung Pengembangan SIDA di Kabupaten Bondowoso.
- Anindyawati, T. (2010). Potensi Selulase dalam Mendegradasi Lignoselulosa Limbah Pertanian Untuk Pupuk Organik. *Berita Selulose* , 70-77.
- Artati, E. K. (2009). Pengaruh Konsentrasi pada Larutan Pemasak pada Proses Delignifikasi Eceng Gondok dengan Proses Organosolv. *Ekuilibrium* , 25-28.
- Biermann, C. J. (1996). *Handbook of Pulping and Papermaking* (2nd ed.). United Kingdom: Academic Press Limited.
- Britt, K. W. (1970). *Handbook of Pulp and Paper Technology*. Belanda: Van Nastrand Reinhold.
- Casey, J. P. (1984). *Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology* (3rd ed.). New York: John Willey and Sons
- Fatriasari, W. (2008). Analisis Morfologi Serat dan Sifat Fisis Kimia Beberapa Jenis Bambu sebagai Bahan Baku Pulp dan Kertas. 34-47.
- Fuadi, A. M. (2008). Pemutihan Pulp dengan Hidrogen Peroksida. 123-128.
- Ibrahim, M. A. (2013). Properties of Oriented Strand Board (OSB) Made from Mixing Bamboo. *ARNP Journal of Science and Technology* , 937-962.
- J.Geankoplis, C. (1997). *Transport Process and Unit Operations* (3rd ed.). India: Asoke K.Ghosh, Prentice-Hall.
- Junaedi, A. (2011). *Data dan Statistika Pulp di Indonesia*. Kementerian Kehutanan (Badan Litbang Kehutanan).
- K.Heyne, B. e. (1927). *Prota*. Retrieved 3 1, 2015, from database.prota.org:
http://database.prota.org/PROTAhtml/Dendrocalamus%20asper_En.htm
- Kehutanan, K. (2014). *Statistik Kementerian Kehutanan Tahun 2013*. Jakarta.

- Levenspiel, O. (1999). *Chemical Reaction Engineering* (3rd ed.). New York: Jhon Willey and Sons inc.
- Marsoem, S. N. (2009). Pemanfaatan Serat Monokotil Bambu Legi (*Gigantochloa atter*) sebagai Bahan Baku Pulp secara Mekano-Organosolv. 819-834.
- Material Safety Data Sheets Acetic Acid*
- Material Safety Data Sheets Hydrogen Peroxide*
- Material Safety Data Sheets Sodium Hydroxide*
- Muladi, S. (2013). *Diktat Kuliah Teknologi Kimia Kayu Lanjutan*. Samarinda.
- Muurinen, E. (2000). *Organosolv Pulping*. OULU: OULU University Library.
- Pasaribu, G. (2005). Analisis Komponen Kimia Empat Jenis Kayu Asal Sumatera Utara. 1-11.
- Peters, M. S., & Timmerhaus, K. D. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* (4th ed.). New York: McGraw Hill.
- Perry's. (1997). *Chemical Engineer's Handbook*.
- Sano, Y. (1999). Acetic Acid Pulping of Wheat Straw Under Atmospheric Pressure .
- Smith, J., Ness, H. V., & Abbott, M. (2001). *Chemical Engineering Thermodynamics* (6th ed.). New York: McGraw Hill.
- Sukatn, E. (2004). Variasi Proses Pulping Kraft dari Jenis Bambu Petung (*Dendrocalamus Asper Backer*) Sebagai Bahan Baku Pulp dan Kertas. *RIMBA Kalimantan Fakultas Kehutanan UNMUL* , 21-24
- Ulrich, G. (1999). *A guide Engineering Process and Economics*. New York: John Willey and Sons inc.
- Wikipedia. (2014, Juli). *Asam Aetat*. Retrieved Januari 8, 2015, from http://id.wikipedia.org/wiki/Asam_asetat
- Wikipedia. (2014, Juli). *Kertas*. Retrieved Desember 27, 2014, from <http://id.wikipedia.org/wiki/Kertas>
- Wikanaji, D. (2011). *Kuliah Pilihan PT Kertas Leces*. Surabaya: D3 Teknik Kimia.

APPENDIKS A NERACA MASSA

Kapasitas produksi : 40.000 ton/tahun = 121.212,12 kg/hari
 Operasi : 330 hari /tahun, 24 jam /hari
 Satuan massa : kg
 Basis waktu : 1 hari

Untuk kapasitas 121.212,12 kg pulp dibutuhkan bahan baku sebesar 263.504,61 kg (yield 46%) dengan data komposisi bambu petung sebagai berikut :

Tabel A.1 Komposisi Bambu Petung

Kandungan	Presentase	Bahan Baku	Jumlah
Selulosa	53	263504,61	139.657,44
Pentosan	19	263504,61	50.065,88
Lignin	25	263504,61	65.876,15
Abu	3	263504,61	7905,13
Jumlah	100		263.504,61

(K.Heyne, 1927)

I. Tahap Pre-Treatment

Data / informasi yang diperoleh untuk perhitungan neraca massa pada proses pre-treatment :

1. Pada tahap screening, impurities yang dapat tertahan yaitu 1% berat massa bahan yang masuk. (Britt, 1970)

I.1 Belt Conveyor

Fungsi : Memindahkan bahan dari gudang penyimpanan bambu menuju drum chipper



Tabel A.2 Neraca Massa pada Belt Conveyor

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 1</u>		<u>Aliran 2</u>	
Selulosa	139.657,44	Selulosa	139.657,44
Pentosan	50.065,88	Pentosan	50.065,88
Lignin	65.876,15	Lignin	65.876,15
Abu	7.905,14	Abu	7.905,14
Jumlah	263.504,61	Jumlah	263.504,61

I.2 Drum Chipper

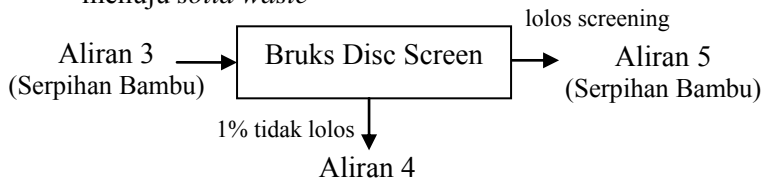
Fungsi : Untuk mencacah batang bambu menjadi serpihan bambu

**Tabel A.3** Neraca Massa pada Drum Chipper

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 2</u>		<u>Aliran 3</u>	
Selulosa	139.657,44	Selulosa	139.657,44
Pentosan	50.065,88	Pentosan	50.065,88
Lignin	65.876,15	Lignin	65.876,15
Abu	7.905,14	Abu	7.905,14
Jumlah	263.504,61	Jumlah	263.504,61

I.3 Bruks Disc Screen

Fungsi : Memisahkan chip-chip yang berukuran standar dan yang Tidak memenuhi standar untuk selanjutnya dibawa menuju *solid waste*



A- 3

$$\begin{aligned}\text{Aliran 3} &= \text{Aliran 4} + \text{Aliran 5} \\ \text{Aliran 4} &= 1\% \times 263.504,61 = 2.635,05 \\ \text{Aliran 5} &= 263.504,61 - 2.635,05 = 260.869,57\end{aligned}$$

Tabel A.4 Neraca Massa pada Bruks Disc Screen

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 3</u>		<u>Aliran 4</u>	
Selulosa	139.657,44	Selulosa	1.396,57
Pentosan	50.065,88	Pentosan	500,66
Lignin	65.876,15	Lignin	658,76
Abu	7.905,14	Abu	79,05
		<u>Aliran 5</u>	
		Selulosa	138.260,87
		Pentosan	49.565,22
		Lignin	65.217,39
		Abu	7.826,09
		Jumlah lolos	260.869,57
Jumlah	263.504,61	Jumlah	263.504,61

II. Tahap Pemasakan

Fungsi : Mengubah serpihan bambu petung menjadi bubur pulp dengan penambahan bahan kimia CH_3COOH . Data/informasi yang diperoleh untuk perhitungan neraca massa pada tahap ini adalah sebagai berikut :

1. Perbandingan larutan CH_3COOH dan bahan baku adalah 6:1 (*Sano, 1999*)
2. Konsentrasi CH_3COOH yang digunakan adalah 90% (*Sano, 1999*)
3. BM Lignin = $\pm 13.770 \text{ kg/mol}$, maka Derajat Polimerisasi = 85 (*Casey, 1984*)
4. Lignin yang bereaksi pada pandia digester sebesar 92%
5. Pentosan yang terlarut 90% (Asumsi)

6. Uap air yang keluar dari blow tank yaitu 1,25% dari total bahan baku (*PT.Leces*)
7. Perbandingan bahan baku dan air pada proses pencucian adalah 1: 2,5 (*Kirk & Othmer, 1978*)
8. Efisiensi washer yaitu 98%. (*Riegel, 1998*)
9. Konsistensi di dalam brownstock yaitu 3,5 % (*Casey,1980*)
10. Efisiensi di dalam exhaust heat exchanger 61,47% (*Muardi, 2000*)

II.1 Tangki Pengenceran CH_3COOH 90%

Total bahan baku = $260.870 : 1 = 260.870 \text{ kg/hari}$

CH_3COOH yang ada pada bahan baku = $90\% \times 260.870$
 $= 234.783 \text{ kg/hari}$

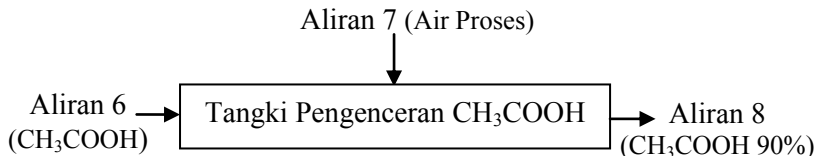
Air pada bahan baku = $10\% \times 260.870 = 26.087 \text{ kg/hari}$

CH_3COOH yang ada di pasar = 96%

$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{air}$ yang ada di dalam tangki = $(100:96) \times 234.783$
 $= 244.566 \text{ kg/hari}$

Air pada CH_3COOH 96% = $244.566 - 234.783 = 9.783 \text{ kg/hari}$

Air proses yang ditambahkan = $26.087 - 9.783 = 16.304 \text{ kg/hari}$



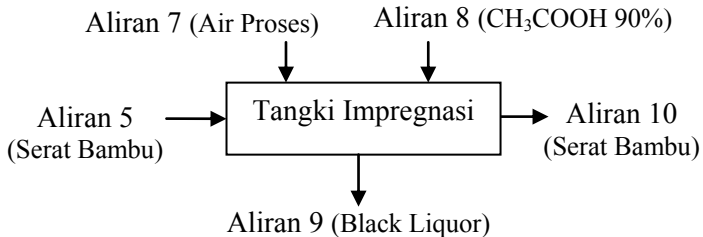
Tabel A.5 Neraca Massa pada Tangki Pengenceran
 CH_3COOH 90%

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 6</u>		<u>Aliran 8</u>	
CH_3COOH	234.783,0	CH_3COOH	234.783,0
Air	9.782,6	Air	26.087
<u>Aliran 7</u>			
Air Proses	16.304,38		
Jumlah	260.870,0	Jumlah	260.870,0

II.2 Tangki Impregnasi

Fungsi : Mencampurkan bahan dengan larutan CH_3COOH 90%. dengan tujuan agar bahan kimia Asam Asetat 90% masuk ke pori melalui struktur kapiler bambu.

Abu yang hilang : 80% (Pekarovicova, 2005)



Tabel A.6 Neraca Massa pada Tangki Impregnasi

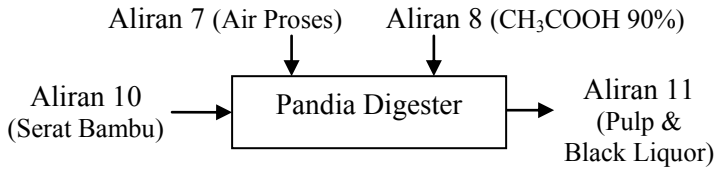
Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 5</u>		<u>Aliran 9</u>	
Selulosa	138.260,9	Air	16.304,38
Pentosan	49.565,2	Black Liquor :	
Lignin	65.217,39	CH_3COOH +	
Abu	7.826,09	Air	260.870,00
<u>Aliran 7</u>		Abu yang hilang	6.260,87
Air Proses	16.304	<u>Aliran 10</u>	
<u>Aliran 8</u>		Selulosa	138.260,87
CH_3COOH	234.783,00	Pentosan	49.565,22
Air	26.087,00	Lignin	65.217,39
		Abu	1.565,22
Jumlah	538.043,9	Jumlah	538.043,94

II.3 Pandia Digester

Fungsi : Mengubah serpihan bambu petung menjadi bubur pulp

Jenis : Continous Digester

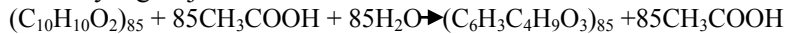
A- 6



Lignin yang bereaksi = $92\% \times 65.217,39 = 60.000 \text{ kg/hari}$

Pentosan yang larut = $90\% \times 49.565,22 = 44.608,70 \text{ kg/hari}$

Reaksi yang terjadi :



M =	4,7	3.913,05	1.449,28		
R =	4,36	370,37	370,37	4,36	370,37
S =	0,38	3.542,68	1.078,91	4,36	370,37

Tabel A.7 Komposisi Reaksi Proses Pemasakan

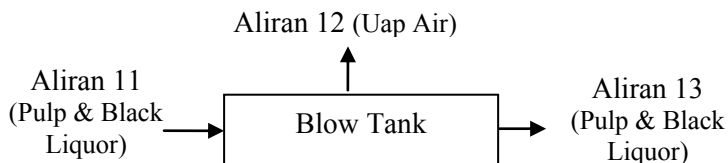
Komponen	BM	Berat (Kg)	Mol
Lignin [M]	13.770	65.217,39	4,74
CH ₃ COOH [M]	60	234.783,00	3.913,05
H ₂ O [M]	18	26.087,00	1.449,28
Lignin [R]	13.770	60.000,00	4,36
CH ₃ COOH [R]	60	22.222,22	370,37
H ₂ O [R]	18	6.666,67	370,37
Aseto Ligninat [R]	15.300	66.666,67	4,36
CH ₃ COOH [R]	60	22.222,22	370,37
Lignin [S]	13.770	5.217,39	0,38
CH ₃ COOH [S]	60	212.560,78	3.542,68
H ₂ O [S]	18	19.420,33	1.078,91
AsetoLigninat [S]	15.300	66.666,67	4,36
CH ₃ COOH [S]	60	22.222,22	370,37

Tabel A.8 Neraca Massa pada Pandia Digester

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 10</u>		<u>Aliran 11</u>	
Selulosa	138.260,9	Selulosa	138.260,87
Pentosan	49.565,2	Pentosan	4.956,52
Lignin	65.217,39	Lignin	5.217,39
Abu	1.565,22	Abu	0,00
<u>Aliran 7</u>			
Air Proses	16.304	Air Proses	16.304,38
<u>Aliran 8</u>		Black Liquor :	
CH ₃ COOH	234.783,00	CH ₃ COOH	212.560,8
Air	26.087,00	Air	19.420,3
		Pentosan Sisa	44.608,70
		Abu	1.565,22
		Aseto Ligninat	66.666,67
		CH ₃ COOH	22.222,22
		Sisa	
Jumlah	531.783,1	Jumlah	531.783,07

II.4 Blow Tank

Fungsi : Menyimpan bubur pulp dan melepaskan uap air



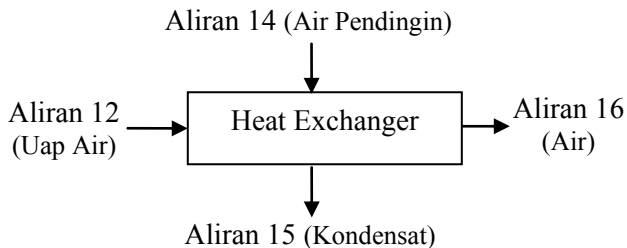
Uap air yang dilepaskan dalam blow tank menurut PT.Leces adalah sebesar 1,25% , maka $= 1,25\% \times 531.783,07$
 $= 6.647,288383 \text{ kg/hari}$

Tabel A.9 Neraca Massa pada Blow Tank

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 11</u>		<u>Aliran 13</u>	
Selulosa	138.260,87	Selulosa	138.260,87
Pentosan	4.956,52	Pentosan	4.956,52
Lignin	5.217,39	Lignin	5.217,39
Black Liquor : Pentosan Sisa	44.608,70	Black Liquor : Pentosan Sisa	44.608,70
Aseto			
Ligninat	66.666,67	Aseto Ligninat	66.666,67
CH ₃ COOH	212.560,78	CH ₃ COOH	212.560,78
Air	19.420,33	Air	12.773,0
CH ₃ COOH		CH ₃ COOH	
Sisa	22.222,22	Sisa	22.222,2
Abu	1.565,22	Abu	1.565,22
		<u>Aliran 12</u>	
		Uap Air	6.647,3
Jumlah	515.478,70	Jumlah	515.478,70

II.5 Heat Exchanger

Fungsi : Mengubah uap air yang di lepaskan oleh blow tank menjadi air proses



Tabel A.10 Neraca Massa pada Heat Exchanger

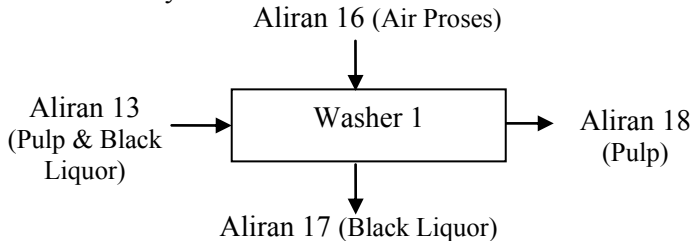
Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 12</u>		<u>Aliran 16</u>	
Uap Air	6.647,29	Air	6.647,29
Jumlah	6.647,29	Jumlah	6.647,29

II.6 Washer 1

Menurut J.Biermann (1996), black liquor merupakan sisa liquor dari proses pulping setelah proses tersebut selesai. Dalam black liquor terkandung paling banyak senyawa inorganik terdegradasi yang digunakan selama proses pulping, dan juga substansi kayu yang terlarut.

Fungsi : Mencuci serat pulp dari black liquor

Jenis : Rotary Vacuum Filter



Perbandingan bahan baku dan air pada proses pencucian adalah 1:2,5 (*Kirk & Othmer, 1978*)

Air yang diperlukan dalam washer :

$$= (2,5 \times 515.478,70) - 6.647,29 = 1.282.049,45 \text{ kg/hari}$$

Effisiensi washer = 98% (*Riegel, 1998*)

Selulosa yang terbawa black liquor :

$$= 2\% \times 138.260,87 = 2765,217391 \text{ kg/hari}$$

Selulosa pada pulp :

$$= 138.260,87 - 2765,217391 = 135.495,65 \text{ kg/hari}$$

Lignin yang terbawa black liquor :

$$= 2\% \times 5.217,39 = 104,3478261 \text{ kg/hari}$$

Lignin pada pulp :

A- 10

$$= 5.217,39 - 104,3478261 = 5.113,04 \text{ kg/hari}$$

Pentosa yang terbawa black liquor :

$$= 2\% \times 4.956,52 = 99,13043478 \text{ kg/hari}$$

Pentosa pada pulp :

$$= 4.956,52 - 99,13043478 = 4.857,39 \text{ kg/hari}$$

Air yang terbawa black liquor :

$$= 98\% \times 1.294.822,50 = 1.268.926,05 \text{ kg/hari}$$

Air pada pulp :

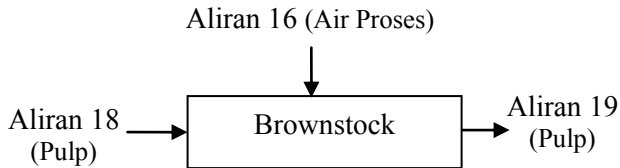
$$= (1.282.049,45 + 12.773) - 1.268.926,05 = 25.896,45 \text{ kg/hari}$$

Tabel A.11 Neraca Massa pada Washer 1

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 13</u>		<u>Aliran 18</u>	
Selulosa	138.260,87	Selulosa	135.495,65
Pentosan	4.956,52	Pentosan	4.857,39
Lignin	5.217,39	Lignin	5.113,04
		Air pada pulp	25.896,45
Black Liquor :		<u>Aliran 17</u>	
Pentosan Sisa	44.608,70	Black Liquor :	
Aseto		Pentosan Sisa	44.608,70
Ligninat	66.666,67	Aseto Ligninat	66.666,67
Asam Asetat	212.560,78		
Air	12.773,04	Asam Asetat	212.560,78
CH ₃ COOH		CH ₃ COOH	
Sisa	22.222,2	Sisa	22.222,22
Abu	1.565,2	Abu	1.565,2
<u>Aliran 16</u>			
Air proses	1.282.049,45	Selulosa	2.765,22
		Lignin	104,3
		Pentosan	99,13043478
		Air	1.268.926,05
Jumlah	1.790.880,86	Jumlah	1.790.880,86

II.7 Brownstock

Fungsi : Menyimpan hasil serat pulp dan siap untuk proses bleaching



Tabel A.12 Neraca Massa pada Brown Stock

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 18</u>		<u>Aliran 19</u>	
Selulosa	135.495,65	Selulosa	135.495,65
Pentosan	4.857,39	Pentosan	4.857,39
Lignin	5.113,04	Lignin	5.113,04
Air pada pulp	25.896,45	Air	4.010.707,83
<u>Aliran 16</u>		-	
Air Proses	3.984.811,38		
Jumlah	4.156.173,91	Jumlah	4.156.173,91

III. Tahap Pemutihan (*Bleaching*)

Fungsi : Meningkatkan *brightness*/derajat keputihan pada pulp

Data/informasi yang diperoleh untuk perhitungan neraca massa pada proses pemutihan adalah sebagai berikut :

1. H_2O_2 yang ditambahkan 4% dari bahan baku yang masuk
1. (Fuadi, 2008)
2. Konsentrasi H_2O_2 dan NaOH yang ditambahkan adalah 2,5% dan 1,25% (Fuadi, 2008)
3. BM Lignin ± 13770 kg/mol (Casey, 1984). DP = 85 (asumsi)
4. Lignin yang terlarut 40% (Casey, 1984)
5. Pentosan yang terlarut 60% (Casey, 1984)

6. Konsistensi dalam tahap pemutihan 10%. (*Casey, 1984*)
7. Penambahan air 4% (*Casey, 1984*)
8. Efisiensi washer yaitu 98% (*Riegel, 1998*)
9. NaOH yang dimasukkan pada pulp 4% (*Heitner, 2006*)

III.1 Tangki Pengenceran Hidrogen Peroksida (H_2O_2)

Fungsi : Membuat larutan H_2O_2 2,5%

H_2O_2 yang ditambahkan :

$$= 4\% \times 4.156.173,91 \text{ kg} = 166.246,96 \text{ kg/hari}$$

Sehingga, 166.246,96 kg larutan H_2O_2 dengan volume 166.246,96 liter (asumsi $\rho_{H_2O_2} = \rho_{air} = 1$), maka, jumlah H_2O_2 2,5% yang ada pada larutan adalah $= 2,5\% \times 166.246,96 = 4.156,17 \text{ kg/hari}$

Air yang terdapat pada H_2O_2 :

$$= 166.246,96 - 4.156,17 = 162.090,17 \text{ kg/hari}$$

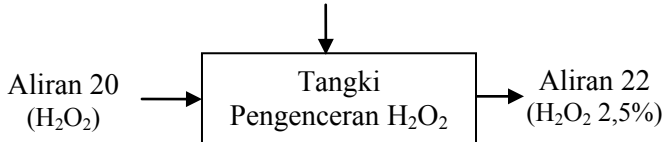
H_2O_2 cair yang ada dipasaran = 35%

$$H_2O_2 + \text{air yang ada dalam tangki} = (100:35) \times 4.156,17 = 11.874,78 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Air yang ada pada } H_2O_2 \text{ 35\%} = 11.874,78 - 4.156,17 = 7.718,61 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Air proses yang ditambahkan} = 162.090,17 - 7.718,61 = 154.372,17 \text{ kg/hari}$$

Aliran 21 (Air Proses)



Tabel A.13 Neraca Massa pada Tangki Pengenceran H_2O_2

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 20</u>		<u>Aliran 22</u>	
H_2O_2	4.156,17	H_2O_2	4.156,17
Air	7.718,61	Air	162.090,78
<u>Aliran 21</u>			
Air Proses	154.372,17		
Jumlah	166.246,96	Jumlah	166.246,96

III.2 Tangki Pengenceran NaOH

Fungsi : membuat larutan NaOH 1,25%

NaOH yang ditambahkan = $4\% \times 4.156.173,91 \text{ kg} = 166.246,96 \text{ kg/hari}$. Sehingga, 166.246,96 kg larutan NaOH dengan volume 166.246,96 liter (asumsi $\rho_{\text{NaOH}} = \rho_{\text{air}} = 1$), maka, jumlah NaOH 1,25% yang ada pada larutan adalah $= 1,25\% \times 166.246,96 = 2.078,09 \text{ kg/hari}$

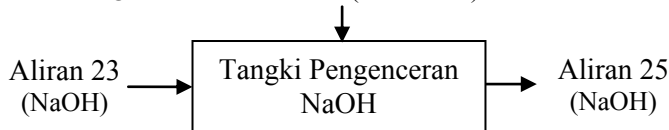
Air yang terdapat pada NaOH $= 166.246,96 - 2.078,09 = 164.168,87 \text{ kg/hari}$

NaOH yang ada dipasaran = 48%

NaOH + air yang ada dalam tangki $= (100:48) \times 2.078,09 = 4.329,35 \text{ kg/hari}$

Air yang ada pada NaOH 48% $= 4.329,35 - 2.078,09 \text{ kg/hari}$

Air proses yang ditambahkan $= 164.168,87 - 2.251,26 = 161.917,61 \text{ kg/hari}$ Aliran 24 (Air Proses)

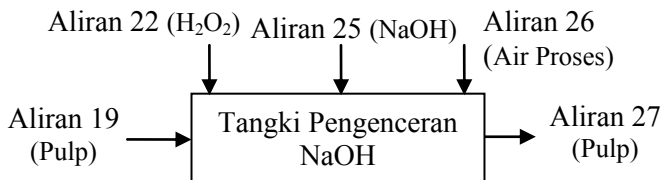


Tabel A.14 Neraca Massa pada Tangki Pengenceran NaOH

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 23</u>		<u>Aliran 25</u>	
NaOH	2.078,09	NaOH	2.078,09
Air	2.251,26	Air	164.168,87
<u>Aliran 24</u>			
Air Proses	161.917,61		
Jumlah	166.246,96	Jumlah	166.246,96

III.3 Tangki Mixing

Fungsi : Mencampurkan bahan pulp dengan air, H_2O_2 dan NaOH



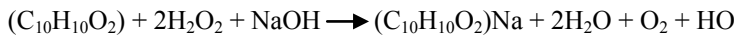
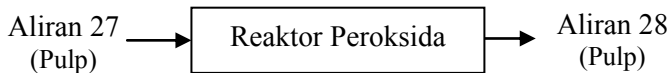
Konsistensi 10% (Casey, 1984)

Tabel A.15 Neraca Massa pada Tangki Pencampuran

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 19</u>		<u>Aliran 27</u>	
Selulosa	135.495,65	Selulosa	135.495,65
Pentosan	4.857,39	Pentosan	4.857,39
Lignin	5.113,04	Lignin	5.113,04
Air	4.010.707,83	Air	37.461.673,57
		H2O2	4.156,17
<u>Aliran 22</u>		NaOH	2.078,09
H2OH	4.156,17		
Air	154.372,17		
<u>Aliran 25</u>			
NaOH	2.078,09		
Air	161.917,61		
<u>Aliran 26</u>			
Air Proses	33.134.675,96		
Jumlah	37.613.373,91	Jumlah	37.613.373,91

III.4 Reaktor Peroksida

Fungsi : Mereaksikan pulp dengan bahan-bahan kimia



M =	0,37	122,24	51,95				
R =	0,15	120,31	51,13	0,15	0,30	0,15	0,15
S =	0,22	1,93	0,82	0,15	0,30	0,15	0,15

Tabel A.16 Komposisi Reaksi Proses Pemutihan

Komponen	BM	Berat (Kg)	Mol
(C ₁₀ H ₁₀ O ₂) [M]	13.770	5.113,04	0,37
H ₂ O ₂ [M]	34	4.156,17	122,24
NaOH [M]	40	2.078,09	51,95
C ₁₀ H ₁₀ O ₂ [R]	13.770	2.045,22	0,15
H ₂ O ₂ [R]	34	4.090,43	120,31
NaOH [R]	40	2.045,22	51,13
(C ₁₀ H ₁₀ O ₂)Na [R]	185	27,48	0,15
H ₂ O [R]	18	5,35	0,30
O ₂ [R]	32	4,75	0,15
HO[R]	17	2,52	0,15
(C ₁₀ H ₁₀ O ₂) [S]	13.770	3.067,83	0,22
H ₂ O ₂ [S]	34	65,74	1,93
NaOH [S]	40	32,87	0,82
(C ₁₀ H ₁₀ O ₂)Na [S]	185	27,48	0,15
H ₂ O [S]	18	5,35	0,30
O ₂ [S]	32	4,75	0,15
HO [S]	17	2,52	0,15

Tabel A.17 Neraca Massa pada Reaktor Peroksida

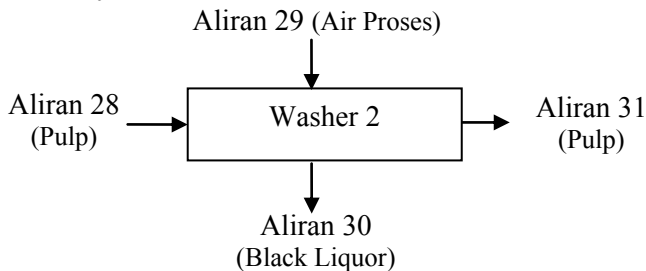
Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 27</u>		<u>Aliran 28</u>	
Selulosa	135.495,65	Selulosa	135.495,65
Pentosan	4.857,39	Pentosan	2.914,43
Lignin	5.113,04	Lignin	3.067,83
Air	37.461.673,57	Air	37.461.673,57
H ₂ O ₂	4.156,17	H ₂ O ₂	4.090,43
NaOH	2.078,09	NaOH	2.045,22
		Lignin Sisa	2.045,22
		Pentosan Sisa	1.902,86
		H ₂ O ₂ [S]	65,74
		NaOH [S]	32,87

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
-		(C ₁₀ H ₁₀ O ₂)Na	
		[S]	27,48
		H ₂ O [S]	5,35
		O ₂ [S]	4,75
		HO[S]	2,52
Jumlah	37.613.373,91	Jumlah	37.613.373,92

III.5 Washer 2

Fungsi : Mencuci bubuk pulp dari black liquor

Jenis : Rotary Vacuum Filter



Air yang diperlukan dalam washer 1 :

$$= (2,5 \times 147.613,57 = 369.033,91 \text{ kg})$$

Efisiensi washer 98 % maka =

Selulosa yang terbawa black liquor :

$$= 2\% \times 135.495,65 = 2.709,91 \text{ kg}$$

$$\text{Selulosa pada pulp} = 135.495,65 - 2.709,91 = 132.905,24 \text{ kg}$$

$$\text{Lignin yang terbawa black liquor} = 2\% \times 3.067,83 = 61,36 \text{ kg}$$

$$\text{Lignin pada pulp} = 3.067,83 - 61,36 = 61,36 \text{ kg}$$

$$\text{Pentosan yang terbawa black liquor} = 2\% \times 2.914,43 = 58,29 \text{ kg}$$

$$\text{Pentosan pada pulp} = 2.914,43 - 58,29 = 2.856,15 \text{ kg}$$

Air yang terbawa black liquor :

$$= 98\% \times 37.830.707,48 = 37.074.093,33$$

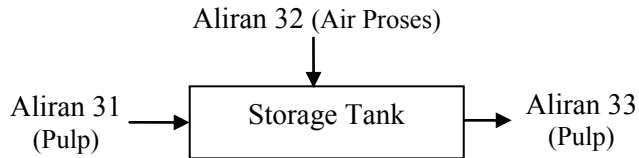
$$\text{Air pada pulp} = 37.830.707,48 - 37.074.093,33 = 756.614,15 \text{ kg}$$

Tabel A.18 Neraca Massa pada Washer 2

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 28</u>		<u>Aliran 31</u>	
Selulosa	135.495,65	Selulosa	132.905,24
Pentosan	2.914,43	Pentosan	2.856,15
Lignin	3.067,83	Lignin	3.006,47
Air	37.461.673,57	Air pada pulp	756.614,15
H ₂ O ₂	4.090,43	<u>Aliran 30</u>	
NaOH	2.045,22	Black Liquor :	
		H ₂ O ₂	4.090,43
Lignin Sisa	2.045,22	NaOH	2.045,22
Pentosan			
Sisa	1.902,86		
H ₂ O ₂ [S]	65,74	Lignin Sisa	2.045,22
NaOH [S]	32,87	Pentosan Sisa	1.902,86
(C ₁₀ H ₁₀ O ₂)			
Na[S]	27,48	H ₂ O ₂ [S]	65,74
H ₂ O [S]	5,35	NaOH [S]	32,87
		(C ₁₀ H ₁₀ O ₂)Na	
O ₂ [S]	4,75	[S]	27,48
HO[S]	2,52	H ₂ O [S]	5,35
		O ₂ [S]	4,75
<u>Aliran 29</u>		HO[S]	2,52
Air Proses	369.033,91	Air	37.074.093,33
		Selulosa	2.709,91
		Lignin	61,36
		Pentosan	58,29
Jumlah	37.982.407,83	Jumlah	37.982.407,68

III.6 Storage Tank

Fungsi : Untuk menampung bubur pulp yang telah di washer 2

**Tabel A.19** Neraca Massa pada Storage Tank

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 31</u>		<u>Aliran 33</u>	
Selulosa	132.905,24	Selulosa	132.905,24
Pentosan	2.856,15	Pentosan	2.856,15
Lignin	3.006,47	Lignin	3.006,47
Air pada pulp	756.614,15	Air	786.351,18
<u>Aliran 32</u>			
Air Proses	29.737,03		
Jumlah	925.119,03	Jumlah	925.119,03

IV. Tahap Post Treatment

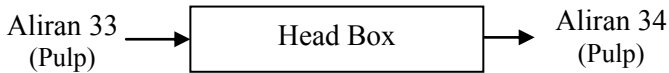
Fungsi : Mengurangi kadar air pulp dan membentuk pulp menjadi lembaran. Data/informasi yang diperoleh untuk tahap post treatment adalah sebagai berikut :

1. Kadar air keluar dari wire part yaitu 42% berat pulp yang masuk.
2. Kadar air yang keluar dari press part roll yaitu 22% berat pulp yang masuk.
3. Kadar air yang keluar dari dryer yaitu 10%.

(Wikanaji, Darono, 2011)

IV.1 Head Box

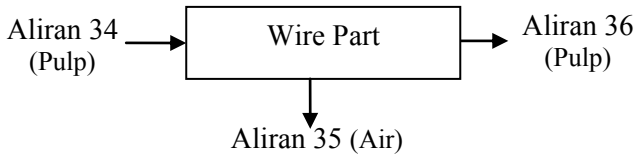
Fungsi : Membentuk bubur pulp menjadi lembaran di atas wire part

**Tabel A.20** Neraca Massa pada Head Box

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 33</u>		<u>Aliran 34</u>	
Selulosa	132.905,24	Selulosa	132.905,24
Pentosan	2.856,15	Pentosan	2.856,15
Lignin	3.006,47	Lignin	3.006,47
Air	786.351,18	Air	786.351,18
Jumlah	925.119,03	Jumlah	925.119,03

IV.2 Wire Part

Fungsi : Mengurangi kadar air hingga 42%



Kadar air 42%

$$42\% = X : (138.767,85 + x)$$

$$X = 100.487,07$$

Pengurangan air pada wire part =

$$\text{Aliran 35} = 786.351,18 - 100.487,07 = 685.864,11 \text{ kg/hari}$$

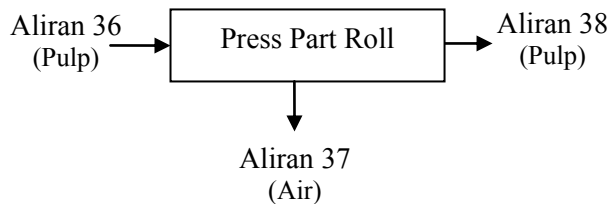
Tabel A.21 Neraca Massa pada Wire Part

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 34</u>		<u>Aliran 36</u>	
Selulosa	132.905,24	Selulosa	132.905,24
Pentosan	2.856,15	Pentosan	2.856,15
Lignin	3.006,47	Lignin	3.006,47
Air	786.351,18	Air	100.487,07

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
		<u>Aliran 35</u>	
		Air	685.864,11
Jumlah	925.119,03	Jumlah	925.119,03

IV.3 Press Part Roll

Fungsi : Untuk menurunkan kadar air dalam lembaran pulp sampai 22%



Kadar air 22%

$$22\% = X : (138.767,85 + X)$$

$$X = 39.139,65$$

Pengurangan air pada Press Part Roll =

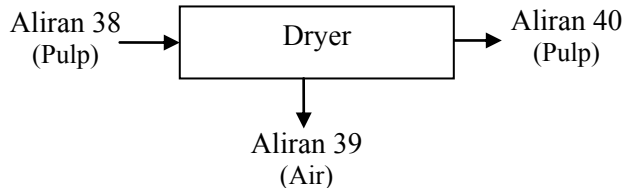
$$\text{Aliran 37} = 100.487,07 - 39.139,65 = 61.347,42 \text{ kg/hari}$$

Tabel A.22 Neraca Massa pada Press Part Roll

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 36</u>		<u>Aliran 38</u>	
Selulosa	132.905,24	Selulosa	132.905,24
Pentosan	2.856,15	Pentosan	2.856,15
Lignin	3.006,47	Lignin	3.006,47
Air	100.487,07	Air	39.139,65
		<u>Aliran 37</u>	
		Air	61.347,42
Jumlah	239.254,92	Jumlah	239.254,92

IV.4 Dryer

Fungsi : Untuk mengurangi kadar air pulp hingga 10%



Kadar air 10% =

$$10\% = X : (138.767,85 + X)$$

$$X = 15.418,65$$

Pengurangan air pada Dryer =

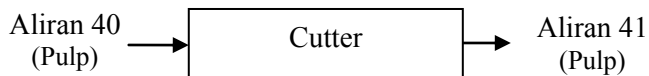
$$\text{Aliran 39} = 39.139,65 - 15.418,65 = 23.721 \text{ kg/hari}$$

Tabel A.23 Neraca Massa pada Dryer

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 38</u>		<u>Aliran 40</u>	
Selulosa	132.905,24	Selulosa	132.905,24
Pentosan	2.856,15	Pentosan	2.856,15
Lignin	3.006,47	Lignin	3.006,47
Air	39.139,65	Air	15.418,65
		<u>Aliran 39</u>	
		Air	23.721,00
Jumlah	177.907,51	Jumlah	177.907,51

IV.5 Cutter

Fungsi : Untuk membuat lembaran pulp



Tabel A.24 Neraca Massa pada Cutter

Masuk		Keluar	
Komponen	Jumlah (kg)	Komponen	Jumlah (kg)
<u>Aliran 40</u>		<u>Aliran 41</u>	
Selulosa	132.905,24	Selulosa	132.905,24
Pentosan	2.856,15	Pentosan	2.856,15
Lignin	3.006,47	Lignin	3.006,47
Air	23.721,00	Air	23.721,00
Jumlah	162.488,86	Jumlah	162.488,86

APPENDIKS B NERACA ENERGI

Kapasitas produk	: 40.000 ton/tahun = 121.212,12 kg/hari
Operasi	: 330 hari /tahun, 24 jam /hari
Satuan massa	: kkal/hari
Temperatur referen	: 25°C

Menurut Geankoplis (1997), sifat yang harus dipertimbangkan dalam *overall balances* pada kontrol volume adalah energi. Dalam penerapannya dengan menggunakan prinsip konservasi energi untuk sebuah volume tetap dalam banyak cara yang sama seperti prinsip kekekalan massa. Persamaan konservasi energi kemudian akan digabungkan dengan hukum pertama termodinamika untuk mendapatkan persamaan energi akhir secara keseluruhan. Hukum pertama termodinamika adalah sebagai berikut :

$$\Delta E = Q - W \quad (1)$$

Di mana E adalah energi total *per unit mass a fluida*, Q adalah panas yang diserap per satuan massa fluida, dan W adalah semua jenis *work* yang dilakukan per satuan massa fluida pada lingkungan. Dalam perhitungan, setiap istilah dalam persamaan harus dinyatakan dalam jenis unit yang sama.

Hukum kekekalan energi menjelaskan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, tetapi hanya dapat diubah dari bentuk energi yang satu menjadi bentuk energi yang lain. Nilai energi suatu materi tidak dapat diukur, yang dapat diukur hanyalah perubahan energi (ΔE). Demikian juga halnya dengan entalpi, entalpi tidak dapat diukur, kita hanya dapat mengukur perubahan entalpi (ΔH).

$\Delta H = H_p - H_r$ dengan:

ΔH = perubahan entalpi

H_p = entalpi produk

B-2

H_r = entalpi reaktan atau pereaksi

- Bila H produk $>$ H reaktan, maka ΔH bertanda positif, berarti terjadi penyerapan kalor dari lingkungan ke sistem.
- Bila H reaktan $>$ H produk, maka ΔH bertanda negatif, berarti terjadi pelepasan kalor dari sistem ke lingkungan.

Secara matematis, perubahan entalpi (ΔH) dapat diturunkan sebagai berikut :

$$H = E + W \quad (1)$$

Pada tekanan tetap:

$$\Delta H = \Delta E + P\Delta V \quad (2)$$

$$\Delta E = q + W \quad (3)$$

$$W_{\text{sistem}} = -P\Delta V \quad (4)$$

Substitusi persamaan (3) dan (4) dalam persamaan (2):

$$H = (q + W) + P\Delta V$$

$$H = (q - P\Delta V) + P\Delta V$$

$$H = q$$

Jadi, pada tekanan tetap, perubahan entalpi (ΔH) sama dengan kalor (q) yang diserap atau dilepas (*James E. Brady, 1990*).

Data perhitungan kapasitas panas (C_p) dapat ditentukan dengan menggunakan hukum Kopp's dengan rumus :

$$\frac{C_p}{J/(mol.^{\circ}C)} = \sum_{E=1}^N n_E \Delta E$$

Diketahui :

n_E : Banyaknya unsur dalam senyawa tersebut

ΔE : Kontribusi elemen (*Tabel 2-350 Perry, ed.8*)

Tabel B.1 Data Komponen Zat Berdasarkan Hukum Kopp's

No.	Unsur	ΔE (kJ/kmol.K)
1.	C	10,89
2.	H	7,56
3.	O	13,42
4.	Na	26,19
5.	O	13,42
6.	Si	17,00
7.	K	28,78
8.	Mg	22,69

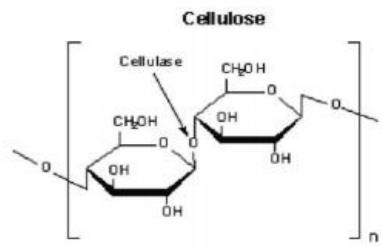
(Perry, 1997)

Berikut adalah data Cp menggunakan metode modifikasi Hukum Kopp's (Perry, ed.8)

1. Selulosa $(C_6H_{10}O_5)_n = (C_6H_{10}O_5)_{1000}$

Derajat polimerasi selulosa = 1000 (asumsi)

BM = 157000 kg/kmol (Sigma, 2009)



Gambar B.1 Struktur Bangun Selulosa (Sigma, 2009)

Tabel B.2 Perhitungan Kapasitas Panas Selulosa

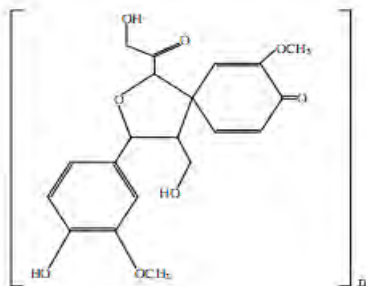
Komponen	n	Dp	ΔE	Total	Satuan
C	6	1.000	10,89	65.340	kJ/Kmol.K
H	10	1.000	7,56	75.600	kJ/Kmol.K
O	5	1.000	13,42	67.100	kJ/Kmol.K
Total				208.040	kJ/Kmol.K
				49.722,75	Kkal/Kmol.K
				0,3167054	Kkal/Kg.C

B-4

2. Lignin $(C_{10}H_{10}O_2)_n = (C_{10}H_{10}O_2)_{85}$

Derajat Polimerisasi lignin = 85 (*asumsi*)

BM = ± 13.770 kg/mol (*Casey, 1984*)



Gambar B.2 Struktur Bangun Lignin (*Weilen, -*)

Tabel B.3 Perhitungan Kapasitas Panas Lignin

Komponen	n	Dp	ΔE	Total	Satuan
C	10	85	10,89	9.256,50	kJ/Kmol.K
H	10	85	7,56	6.426,00	kJ/Kmol.K
O	2	85	13,42	2.281,40	kJ/Kmol.K
Total				17.963,90	kJ/Kmol.K
				4.293,48	Kkal/Kmol.K
				0,311799212	Kkal/Kg.C

3. Pentosan $(C_5H_{10}O_5) = (C_5H_{10}O_5)$

BM Pentosa = 150 kg/mol

Tabel B.4 Perhitungan Kapasitas Panas Pentosan

Komponen	n	Dp	ΔE	Total	Satuan
C	10	1	10,89	54,45	kJ/Kmol.K
H	10	1	7,56	75,60	kJ/Kmol.K
O	5	1	13,42	67,10	kJ/Kmol.K
Total				197,15	kJ/Kmol.K
				47,12	Kkal/Kmol.K
				0,314133206	Kkal/Kg.C

B-5

4. Abu

$C_p = 0,2 \text{ Kkal/Kg.C}$ (*engineeringtoolbox.com*)

5. Aseto-Ligninat ($\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_3$)₈₅

$\text{BM} = \pm 15.300 \text{ kg/mol}$ (*Casey, 1984*)

$\text{DP} = 85$

Tabel B.5 Perhitungan Kapasitas Aseto Ligninat

Komponen	n	Dp	ΔE	Total	Satuan
C	10	85	10,89	9.256,50	kJ/Kmol.K
H	12	85	7,56	7.711,20	kJ/Kmol.K
O	3	85	13,42	3.422,10	kJ/Kmol.K
Total				20.389,80	kJ/Kmol.K
				4.873,28	Kkal/Kmol.K
				0,318514978	Kkal/Kg.C

6. Asam Asetat (CH_3COOH)

$\text{BM} = 60 \text{ kg/mol}$ (*Casey, 1984*)

$C_p = 123,1 \text{ J/K.mol} = 0,02940193 \text{ Kkal/Kg.C}$ (*wikipedia.org*)

7. ($\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}_2$)Na

$\text{BM} = \pm 185 \text{ kg/mol}$ (*Casey, 1984*)

Tabel B.6 Perhitungan Kapasitas ($\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}_2$)Na

Komponen	n	Dp	ΔE	Total	Satuan
C	10	1	10,89	108,9	kJ/Kmol.K
H	12	1	7,56	75,6	kJ/Kmol.K
O	3	1	13,42	26,84	kJ/Kmol.K
Na	1	1	26,19	26,19	kJ/Kmol.K
Total				237,53	kJ/Kmol.K
				56,7710325	Kkal/Kmol.K
				0,306870446	Kkal/Kg.C

8. O_2

$\text{BM} = 32 \text{ kg/mol}$ (*Casey, 1984*)

$C_p = 0,220 \text{ Kkal/Kg.C}$ (*wikipedia.org*)

9. HOBM = 17 kg/mol (*Casey, 1984*)**Tabel B.7** Perhitungan Kapasitas HO

Komponen	n	Dp	ΔE	Total	Satuan
H	1	1	7,56	7,56	kJ/Kmol.K
O	1	1	13,42	13,42	kJ/Kmol.K
Total				20,98	kJ/Kmol.K
				5,014340344	Kkal/Kmol.K
				0,294961197	Kkal/Kg.C

10. H₂O₂BM = 35 kg/mol (*Casey, 1984*)**Tabel B.8** Perhitungan Kapasitas H₂O₂

Komponen	n	Dp	ΔE	Total	Satuan
H	2	1	7,56	15,12	kJ/Kmol.K
O	2	1	13,42	26,84	kJ/Kmol.K
Total				41,96	kJ/Kmol.K
				10,02868069	Kkal/Kmol.K
				0,294961197	Kkal/Kg.C

11. H₂OBM = 18 kg/mol (*Casey, 1984*)

Cp = 4,181 J/Kg.K = 0,999 Kkal/Kg.C

Tabel B.9 Perhitungan Kapasitas H₂O dan NaOH

Komponen	Cp (kcal/kg.°C)	Referensi
NaOH 1,25%	0,97	Perry tabel 2-173
H ₂ O (30-40°C)	0,238695029	Gean Koplis A.2-5
(70°C)	1,001912046	
(80°C)	1,003585086	
(90°C)	1,005736138	
(100°C)	1,008365201	
(165°C)	1,179254302	

Tabel B.10 Data (ΔH°_f) Menggunakan Metode Joback

No	Gugus Fungsi	Hf298 (kJ/kmol)
1	-CH ₃	-76,45
2	-CH ₂ -	-26,8
3	 -CH	8,67
4	=CH-	37,97
5	-C-	79,72
6	-O-	-138,16
7	=C<	83,99
8	-CO-	-33,22
9	-OH	-208,04
10	-COO-	-337,92
11	-COOH	-426,72
12	-Na	-261,3753

(Perry, Ed.8)

Berikut adalah data entalpi pembentukan (ΔH°_f) :**1. Lignin** $(C_{10}H_{10}O_2)_n = (C_{10}H_{10}O_2)_{85}$ **Tabel B.11** Perhitungan ΔH°_f Lignin

Gugus Fungsi	n	Dp	Hf (kJ/kmol)	Total Hf (kJ/kmol)
(-OH)	1	85	-208,04	-17.683,40
(-C-)	6	85	79,72	40.657,20
(-CH ₂ -)	2	85	-26,80	-4.556,00
(-CH=)	9	85	8,67	6.632,55
(-CH ₃)	2	85	-76,45	-12.996,50
(-CO-)	2	85	-33,22	-5.647,40
(-O-)	3	85	-138,16	-35.230,80
Total			Kj.Kmol	-28.824,35
			Kkal/Kmol	-6.889,18
			Kkal/g	-0,50

2. Aseto-Ligninat ($C_{10}H_{12}O_3$)₈₅

Tabel B.12 Perhitungan ΔH°_f Aseto Ligninat

Gugus Fungsi	n	Dp	Hf (kJ/kmol)	Total Hf (kJ/kmol)
(-OH)	3	85,00	-208,04	-53.050,20
(-C-)	6	85,00	79,72	40.657,20
(-CH ₂ -)	2	85,00	-26,80	-4.556,00
(=CH-)	9	85,00	8,67	6.632,55
(-CH ₃)	2	85,00	-76,45	-12.996,50
(-CO-)	2	85,00	-33,22	-5.647,40
(-O-)	3	85,00	-138,16	-35.230,80
Total			Kj.Kmol	-64.191,15
			Kkal/Kmol	-15.342,05
			Kkal/g	-1,002748566

3. Asam Asetat (CH_3COOH)

$$\Delta H^\circ_f = -483,88 \text{ kJ/mol} = -115,65 \text{ Kkal/Mol} = -1,93 \text{ Kkal/Kg}$$

4. ($C_{10}H_{10}O_2$)Na

Tabel B.13 Perhitungan ΔH°_f ($C_{10}H_{10}O_2$)Na

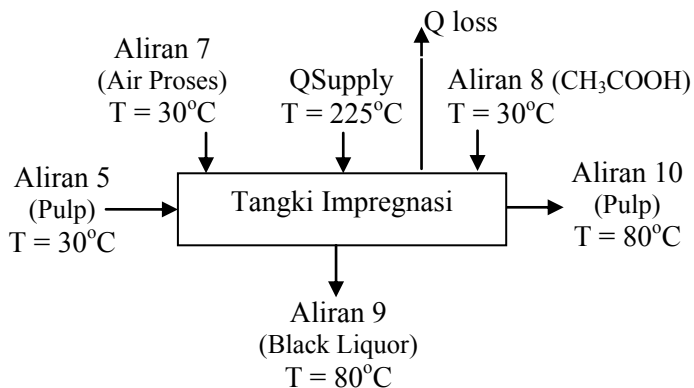
Gugus Fungsi	n	Dp	Hf (kJ/kmol)	Total Hf (kJ/kmol)
(-OH)	1		-208,04	-208,04
(-C-)	6		79,72	478,32
(-CH ₂ -)	2		-26,80	-53,60
(=CH-)	9		8,67	78,03
(-CH ₃)	2		-76,45	-152,90
(-CO-)	2		-33,22	-66,44
(-O-)	3		-138,16	-414,48
(-Na)	1		-261,38	-261,38
Total			Kj.Kmol	-600,49
			Kkal/Kmol	-143,52
			Kkal/g	-0,775780709

Tabel B.14 Panas Pembentukan Senyawa Lainnya
(Perry, 1999)

Komponen	Hf298 (Kkal/Kmol)
NaOH	-112,193
H ₂ O ₂	-212,03
H ₂ O	-68,3174
OH	-208,04

1. Tangki Impregnasi

Fungsi : Mencampurkan bahan dengan larutan CH₃COOH 90%. dengan tujuan agar bahan kimia Asam Asetat 90% masuk ke pori melalui struktur kapiler bambu.



Masuk				
Aliran 5				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q = m \cdot Cp \cdot \Delta T$
Selulosa	138.260,87	0,32	5	218.939,84
Pentosan	49.565,22	0,31	5	77.850,40
Lignin	65.217,39	0,31	5	101.673,66
Abu	7.826,09	0,20	5	7.826,09
Jumlah				406.289,99

Masuk				
Aliran 7				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Air Proses	16.304,38	0,24	5	19.458,87
Jumlah				19.458,87
Aliran 8				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
CH ₃ COOH	234.783,00	0,03	5	34.515,37
Air	26.087,00	0,24	5	31.134,19
Jumlah				65.649,55

Keluar				
Aliran 9				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Air Proses	16.304,38	1,00	55	899.955,52
Black Liquor : CH ₃ COOH + Air	260.870,00	0,03	55	421.854,48
Abu yg hilang	6.260,87	0,20	55	68.869,57
Jumlah				1.390.679,56
Aliran 10				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Selulosa	138.260,87	0,32	55	2.408.338,29
Pentosan	49.565,22	0,31	55	856.354,44
Lignin	65.217,39	0,31	55	1.118.410,22
Abu	1.565,22	0,20	55	17.217,39
Jumlah				4.400.320,33

Tabel B.15 *Steam Table Smith Vannes*

Sat.Steam (°C)	Hs(liquid)	hs(vapour)	ΔH (kJ/kg)	ΔH (kkal/kg)
225,00	2.803,30	966,78	1.836,52	438,94

B-11

$$Q_{\text{supply}} = m_{\text{steam}} \times \lambda$$

$$= 438,94 \times m_{\text{steam}}$$

$$Q_{\text{loss}} = 5\% \times Q_{\text{supply}}$$

$$= 5\% \times 438,94 \text{ m.steam}$$

$$= 21,95 \text{ m.steam}$$

Neraca Panas :

$$Q_5 + Q_7 + Q_8 + Q_{\text{Supply}} = Q_9 + Q_{10} + Q_{\text{loss}}$$

$$406.289,99 + 19.458,87 + 65.649,55 + 438,94 \text{ m.steam} =$$

$$1.390.679,56 + 4.400.320,33 + 21,95 \text{ m.steam}$$

$$416,99 \text{ m.steam} = 5.299.398,41$$

$$\text{m.steam} = 12.709,18$$

maka

$$Q_{\text{supply}} = 5.578.568,01 \text{ kkal}$$

$$Q_{\text{loss}} = 278.966,53 \text{ kkal}$$

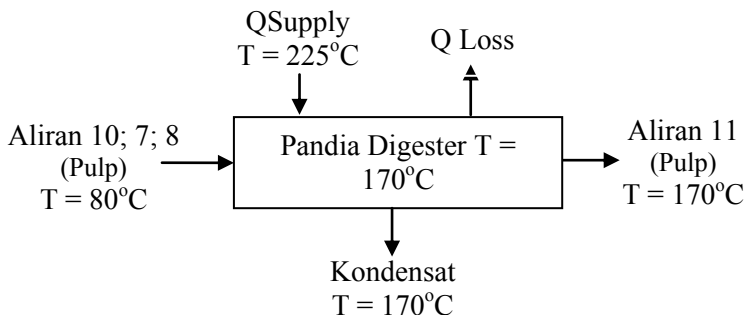
Tabel B.16 Neraca Panas pada Tangki Impregnasi

Masuk		Keluar	
Q5	406.289,99	Q9	1.390.679,56
Q7	19.458,87	Q10	4.400.320,33
Q8	65.649,55	Qloss	278.966,53
Qsupply	5.578.568,01		
Jumlah	6.069.966,42	Jumlah	6.069.966,42

2. Pandia Digester

Fungsi : Mengubah serpihan bambu petung menjadi bubur pulp

Jenis : Continous Digester

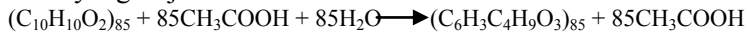


Masuk				
Aliran 10				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	Q=m.Cp.ΔT
Selulosa	138.260,87	0,32	55	2.408.338,29
Pentosan	49.565,22	0,31	55	856.354,44
Lignin	65.217,39	0,31	55	1.118.410,22
Abu	1.565,22	0,20	55	17.217,39
Jumlah				4.400.320,33
Aliran 7				
Air Proses	16.304,38	1,00	55	899.955,52
Jumlah				899.955,52
Aliran 8				
CH ₃ COOH	234.783,00	0,03	55	379.669,03
Air	26.087,00	1,00	55	1.439.928,83
Jumlah				1.819.597,86

Keluar				
Aliran 11				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	Q=m.Cp.ΔT
Selulosa	138.260,87	0,32	145	6.349.255,49
Pentosan	4.956,52	0,31	145	225.766,17
Lignin	5.217,39	0,31	145	235.882,88
Abu	0,00	0,20	145	0,00
Air Proses	16.304,38	1,18	145	2.787.915,63
Black Liquor :				
CH ₃ COOH	212560,77	0,03	145	906.206,08
Air	19.420,333	1,18	145	3.320.719,19
Pentosan Sisa	44.608,70	0,31	145	2.031.895,52
Abu	1.565,22	0,20	145	45.391,30
Aseto Ligninat	66.666,67	0,32	145	3.078.978,12
CH ₃ COOH Sisa	22.222,22	0,03	145	94.739,55
Jumlah				19.076.749,94

B-13

Reaksi yang terjadi :



M =	4,7	3.913,05	1.449,28		
R =	4,36	370,37	370,37	4,36	370,37
S =	0,38	3.542,68	1.078,91	4,36	370,37

ΔH25				
Komponen	n	KgMol	ΔHf (kkal/kmol)	H=n.mol.ΔHf
Lignin	1	4,36	-6.889,18	-30.036,85
CH ₃ COOH	85	370,37	-115,65	-3.640.832,70
H ₂ O	85	370,37	-68,3174	-2.150.730,81
Aseto	1	4,36	-15.342,05	-66.891,35
Ligninat				
CH ₃ COOH	85	370,37	-115,65	-3.640.832,70
ΣH25 = Produk-Reaktan				2.113.876,31
ΔH Reaktan				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	H=m.Cp.ΔT
Lignin	60.000	0,31	55	1.028.937,40
CH ₃ COOH	22.222,22	0,03	55	35.935,69
H ₂ O	6.666,67	1,00	55	366.403,76
Jumlah				1.431.276,85
ΔH Produk				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	H=m.Cp.ΔT
Aseto				
Ligninat	66.666,67	0,32	55	1.167.888,25
CH ₃ COOH	22.222,22	0,03	55	35.935,69
Jumlah				1.203.823,94
ΔH Reaksi = ΔH25 + produk - reaktan				1.886.423,40

B-14

$$\begin{aligned}Q_{\text{supply}} &= m.\text{steam} \times \lambda \\&= 438,94 \times m.\text{steam} \\Q_{\text{loss}} &= 5\% \times Q_{\text{supply}} \\&= 5\% \times 438,94 \times m.\text{steam} \\&= 21,95 m.\text{steam}\end{aligned}$$

Neraca Panas :

$$\begin{aligned}Q_{10} + Q_7 + Q_8 + Q_{\text{Supply}} + \Delta H_{\text{reaksi}} &= Q_{11} + Q_{\text{loss}} \\4.400.320,33 + 899.955,52 + 1.819.597,86 + 438,94 \times m.\text{steam} + \\1.886.423,40 &= 19.076.749,94 + 21,95 \times m.\text{steam} \\416,99 \times m.\text{steam} &= 10.070.452,83 \\m.\text{steam} &= 24.150,35\end{aligned}$$

maka

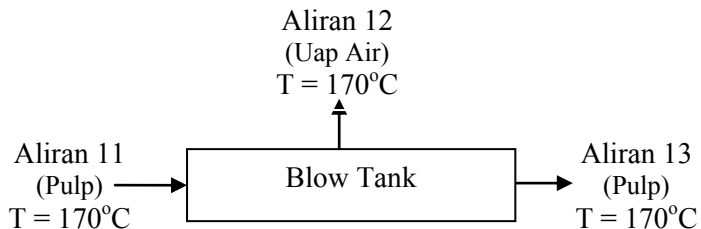
$$\begin{aligned}Q_{\text{supply}} &= 10.600.552,92 \text{ kkal} \\Q_{\text{loss}} &= 530.100,10 \text{ kkal}\end{aligned}$$

Tabel B.17 Neraca Panas pada Pandia Digester

Masuk		Keluar	
Q10	4.400.320,33	Q11	19.076.749,94
Q7	899.955,52	Qloss	530.100,10
Q8	1.819.597,86		
ΔH Reaksi	1.886.423,40		
Qsupply	10.600.552,92		
Jumlah	19.606.850,03	Jumlah	19.606.850,03

3. Blow Tank

Fungsi : Menyimpan bubur pulp dan melepaskan uap air



Masuk				
Aliran 11				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	Q=m.Cp.ΔT
Selulosa	138.260,87	0,32	145	6.349.255,49
Pentosan	4.956,52	0,31	145	225.766,17
Lignin	5.217,39	0,31	145	235.882,88
Black Liquor :				
Pentosan Sisa	44.608,70	0,31	145	2.031.895,52
Aseto Ligninat	66.666,667	0,32	145	3.078.978,12
CH ₃ COOH	212.560,78	0,03	145	906.206,08
Air	19.420,33	1,18	145	3.320.719,19
CH ₃ COOH Sisa	22.222,22	0,03	145	94.739,55
Abu	1.565,22	0,20	145	45.391,30
Jumlah				16.288.834,30

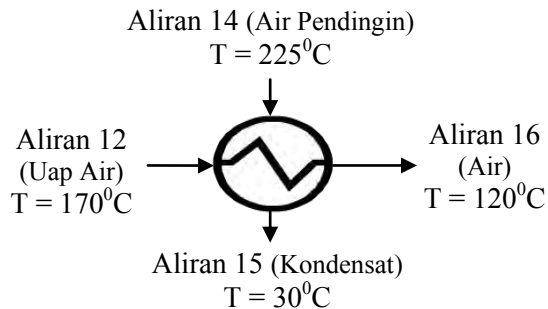
Keluar				
Aliran 12				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	Q=m.Cp.ΔT
Uap Air	6.647,29	1,18	145	1.136.632,30
Jumlah				1.136.632,30
Aliran 13				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	Q=m.Cp.ΔT
Selulosa	138.260,87	0,32	145	6.349.255,49
Pentosan	4.956,52	0,31	145	225.766,17
Lignin	5.217,39	0,31	145	235.882,88
Black Liquor :				
Pentosan Sisa	44.608,70	0,31	145	2.031.895,52
Aseto Ligninat	66.666,67	0,32	145	3.078.978,12
CH ₃ COOH	212.560,78	0,03	145	906.206,08
Air	12.773,04	1,18	145	2.184.086,89
CH ₃ COOH Sisa	22.222,22	0,03	145	94.739,55
Abu	1.565,22	0,20	145	45.391,30
Jumlah				15.152.202,01

Tabel B.18 Neraca Panas pada Blow Tank

Masuk		Keluar	
Q11	16.288.834,30	Q12	1.136.632,30
		Q13	15.152.202,01
Jumlah	16.288.834,30	Jumlah	16.288.834,30

4. Heat Exchanger

Fungsi : Sebagai alat perpindahan panas



Masuk				
Aliran 12				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Uap Air	6.647,29	1,18	145	1.136.632,30
Jumlah				1.136.632,30
Aliran 14				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Air	11.911,57	0,24	5	14.216,16
Jumlah				14.216,16

Keluar				
Aliran 15				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Air	6.647,29	0,24	5	7.933,37
Jumlah				7.933,37

Aliran 16				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Air	11.911,57	1,01	95	1.142.915,08
Jumlah				1.142.915,08

Neraca Panas :

$$Q_{12} + Q_{14} (\text{Air Cooling}) = Q_{15} (\text{Kondensat}) + Q_{16} (\text{Hasil HE})$$

$$1.136.632,30 + 1,19 \text{ m.air} = 7.993,37 + 95,95 \text{ m.air}$$

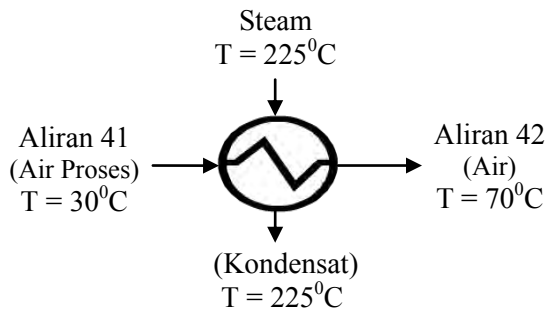
Maka, m.air yang dibutuhkan = 11.911,57 kkal

Tabel B.19 Neraca Panas pada Heat Exchanger

Masuk		Keluar	
Q12	1.136.632,30	Q15	7.933,37
Q14	14.216,16	Q16	1.142.915,08
Jumlah	1.150.848,46	Jumlah	1.150.848,46

5. Heat Exchanger Washer 1

Fungsi : Sebagai alat perpindahan panas



Sat.Steam (°C)	Hs(liquid)	hs(vapour)	ΔH (kJ/kg)	ΔH (kkal/kg)
225	2803,3	966,78	1836,52	438,94
100	2740,3	610,63	2129,67	509,00

Masuk				
Aliran 41 (Water Process)				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	Q=m.Cp.ΔT
Air	1.282.049,45	0,24	5	1.530.094,15
Jumlah				1.530.094,15
Q Supply				
Komponen	Massa	λ		Q=m.λ
Air	134.949,14	438,94		59.234.574,91
Jumlah				59.234.574,91

Keluar				
Aliran 42 (Air)				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	Q=m.Cp.ΔT
Air	1.282.049,45	1,00	45	57.802.535,47
Jumlah				57.802.535,47
QLoss				
Komponen	Massa	λ		Q=m.λ
Air	134.949,14	21,95		2.962.133,59
Jumlah				2.962.133,59

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{supply}} &= m_{\text{steam}} \times \lambda \\
 &= m_{\text{steam}} \times 438,94 \\
 &= 438,94 \text{ m.steam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{loss}} &= 5\% \times Q_{\text{supply}} \\
 &= 5\% \times 438,94 \text{ m.steam} \\
 &= 21,95 \text{ m.steam}
 \end{aligned}$$

Neraca Panas :

$$Q_{\text{Air (WP)}} + Q_{\text{Supply}} = Q_{\text{Air}} + Q_{\text{loss}}$$

$$1.530.094,15 + 438,94 \text{ m.steam} = 57.802.535,47 + 21,95 \text{ m.steam}$$

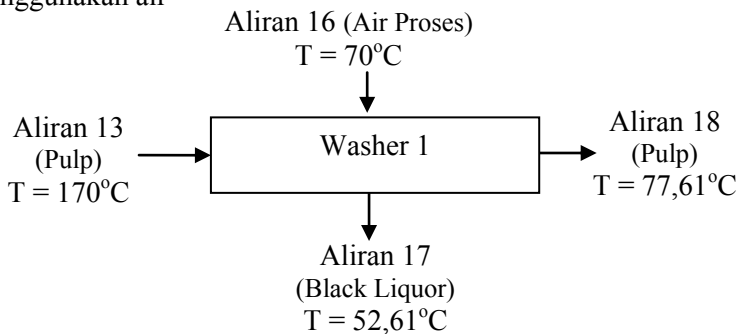
Maka, m.steam yang dibutuhkan 134.949,14 kkal

Tabel B.20 Neraca Panas pada Heat Exchanger Washer 1

Masuk		Keluar	
Q41 (WP)	1.530.094,15	Q42	57.802.535,47
Qsteam	59.234.574,91	Qloss	2.962.133,59
Jumlah	60.764.669,06	Jumlah	60.764.669,06

6. Washer 1

Fungsi : Untuk mencuci pulp dari black liquor dengan menggunakan air



Masuk				
Aliran 13				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Selulosa	138.260,87	0,32	145	6.349.255,49
Pentosan	4.956,52	0,31	145	225.766,17
Lignin	5.217,39	0,31	145	235.882,88
Black Liquor :				
Pentosan Sisa	44.608,70	0,31	145	2.031.895,52
Aseto Ligninat	66.666,667	0,32	145	3.078.978,12
CH ₃ COOH	212.560,78	0,03	145	906.206,08
Air	12.773,04	1,18	145	2.184.086,89
CH ₃ COOH Sisa	22.222,22	0,03	145	94.739,55
Abu	1.565,22	0,20	145	45.391,30
Jumlah				15.152.202,01

Aliran 16				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Air Proses	1.282.049,45	1,00	45	57.802.535,47
Jumlah				57.802.535,47

Keluar				
Aliran 18				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Selulosa	135.495,65	0,32	52,61	2.257.570,69
Pentosan	4.857,39	0,31	52,61	80.274,46
Lignin	5.113,04	0,31	52,61	83.871,61
Air pada pulp	25.896,45	1,00	52,61	1.364.992,42
Jumlah				3.786.709,19

Aliran 17				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Black Liquor Pentosan Sisa	44.608,70	0,31	52,61	737.214,47
Aseto Ligninat	66.666,67	0,32	52,61	1.117.118,08
CH ₃ COOH CH ₃ COOH	212.560,78	0,03	52,61	328.790,64
Sisa	22.222,22	0,03	52,61	34.373,50
Abu	1.565,22	0,20	52,61	16.468,92
Selulosa	2.765,22	0,32	52,61	46.072,87
Lignin	104,35	0,31	52,61	1.711,67
Pentosan	99,13	0,31	52,61	1.638,25
Air	1.268.926,05	1,00	52,61	66.884.639,87
Jumlah				69.168.028,28

Neraca Panas (*Smith, 2005*)

$$Q_{\text{Masuk}} = \sum N_i C_{p_i} dT$$

$$Q_{13} + Q_{16} = Q_{17} + Q_{18}$$

$$15.152.202,01 + 57.802.535,47 = 71.978,28 + 1.314.755,25$$

Dari perhitungan didapatkan temperatur keluar yaitu 52,61°C

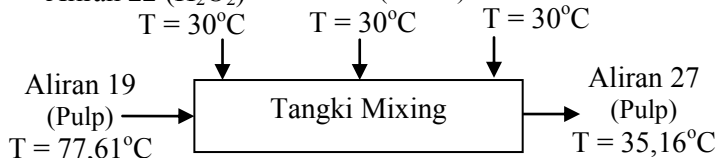
Tabel B.21 Neraca Panas pada Washer 1

Masuk		Keluar	
Q13	15.152.202,01	Q18	3.786.709,19
Q16	57.802.535,47	Q17	69.168.028,28
Jumlah	72.954.737,47	Jumlah	72.954.737,47

7. Mixer

Fungsi : Untuk mencampurkan bahan pulp dengan air, H₂O₂ dan

NaOH Aliran 22 (H₂O₂) Aliran 25 (NaOH) Aliran 26 (Air Proses)



Masuk				
Aliran 19				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	Q=m.Cp.ΔT
Selulosa	135.495,65	0,32	52,61	2.257.570,69
Pentosan	4.857,39	0,31	52,61	80.275,91
Lignin	5.113,04	0,31	52,61	83.873,12
Air	4.010.707,83	1,00	52,61	211.406.786,80
Jumlah				213.828.506,52
Aliran 22				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	Q=m.Cp.ΔT
H ₂ O ₂	4.156,17	0,29	5	6.129,55
Air	154.372,17	1,00	5	773.336,70
Jumlah				779.466,25

Aliran 25				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
NaOH	2.078,09	0,97	5	10.078,72
Air	161.917,61	1,00	5	811.136,01
Jumlah				821.214,73
Aliran 26				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Air Proses	33.134.675,96	1,00	5	165.990.154,89
Jumlah				165.990.154,89

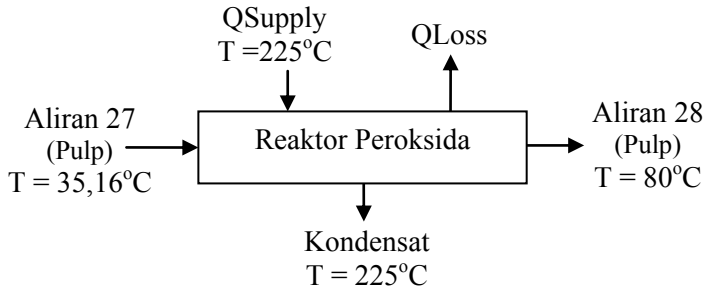
Keluar				
Aliran 27				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Selulosa	135.495,65	0,32	10,17	436.340,53
Pentosan	4.857,39	0,31	10,17	15.515,35
Lignin	5.113,04	0,31	10,17	16.210,60
Air	37.461.673,57	1,00	10,17	380.918.314,07
H ₂ O ₂	4.156,17	0,29	10,17	12.465,32
NaOH	2.078,09	0,97	10,17	20.496,52
Jumlah				381.419.342,39

Tabel B.22 Neraca Panas pada Mixer

Masuk		Keluar	
Q19	213.828.506,52	Q27	381.419.342,39
Q22	779.466,25		
Q25	821.214,73		
Q26	165.990.154,89		
Jumlah	381.419.342,39	Jumlah	381.419.342,39

8. Reaktor Peroksida

Fungsi : Mereaksikan pulp dengan bahan-bahan kimia

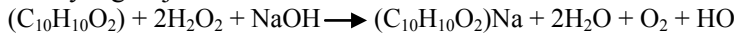


Masuk				
Aliran 27				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Selulosa	135.495,65	0,32	10,16	435.988,05
Pentosan	4.857,39	0,31	10,16	15.502,82
Lignin	5.113,04	0,31	10,16	16.197,51
Air	37.461.673,57	0,24	10,16	90.849.858,90
H ₂ O ₂	4.156,17	0,29	10,16	12.455,25
NaOH	2.078,09	0,97	10,16	20.479,96
Jumlah				91.350.482,48

Keluar				
Aliran 28				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Selulosa	135.495,65	0,32	55	2.360.171,52
Pentosan	2.914,43	0,31	55	50.353,64
Lignin	3.067,83	0,31	55	52.610,02
Air	37.461.673,57	0,24	55	491.805.338,53
H ₂ O ₂	4.090,43	0,29	55	66.358,57
NaOH	2.045,22	0,97	55	109.112,35

Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Lignin Sisa	2.045,22	0,31	55	35.073,34
Pentosan Sisa	1.902,857	0,31	55	32.876,27
H ₂ O ₂ [S]	65,74	0,29	55	1.066,48
NaOH [S]	32,87	0,97	55	1.753,59
(C ₁₀ H ₁₀ O ₂) Na[S]	27,48	0,31	55	463,76
H ₂ O [S]	5,35	0,24	55	70,20
O ₂ [S]	4,75	0,22	55	57,51
HO[S]	2,52	0,29	55	40,96
Jumlah				494.515.346,75

Reaksi yang terjadi :



M =	0,37	122,24	51,95				
R =	0,15	120,31	51,13	0,15	0,30	0,15	0,15
<hr/>							
S =	0,22	1,93	0,82	0,15	0,30	0,15	0,15

ΔH_{25}				
Komponen	n	KgMol	ΔH_f (kkal/kmol)	$H=n.mol.\Delta H_f$
C ₁₀ H ₁₀ O ₂	1	0,15	-6.889,18	-1.033,38
H ₂ O ₂	2	120,31	-212,03	-51.018,66
NaOH	1	51,13	-112,193	-5.736,43
(C ₁₀ H ₁₀ O ₂)Na	1	0,15	-143,52	-21,53
H ₂ O	2	0,30	-68,3174	-40,99
O ₂	1	0,15	0	0,00
HO	1	0,15	-208,04	-31,21
$\Sigma H_{25} = \text{Produk-Reaktan}$				57.694,74
$\Delta H \text{ Reaktan}$				

Komponen	Massa	Cp	ΔT	$H=m.Cp.\Delta T$
$C_{10}H_{10}O_2$	2.045,22	0,31	10	6.479,00
H_2O_2	4.090,43	0,29	10	12.258,24
NaOH	2.045,22	0,97	10	20.156,03
Jumlah				38.893,27
ΔH Produk				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$H=m.Cp.\Delta T$
$(C_{10}H_{10}O_2)$				
Na	27,48	0,31	10	85,67
H_2O	5,35	0,24	10	12,97
O_2	4,75	0,22	10	10,62
HO	2,52	0,29	10	7,57
Jumlah				116,83
ΔH Reaksi = ΔH_{25} + produk - reaktan				18.918,30

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{supply}} &= m.\text{steam} \times \lambda \\
 &= m.\text{steam} \times 438,94 \\
 &= 438,94 \text{ m.steam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{loss}} &= 5\% \times Q_{\text{supply}} \\
 &= 5\% \times 438,94 \text{ m.steam} \\
 &= 21,95 \text{ m.steam}
 \end{aligned}$$

Neraca Panas :

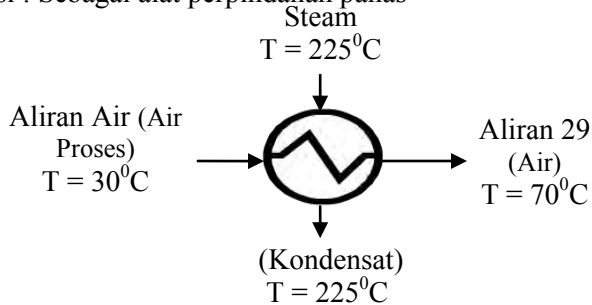
$$\begin{aligned}
 Q_{27} + \Delta H_{\text{reaksi}} + Q_{\text{Supply}} &= Q_{28} + Q_{\text{Loss}} \\
 91.350.482,48 + 18.918,30 + 438,94 \text{ m.steam} &= \\
 494.515.346,75 + 21,95 \text{ m.steam} &= \\
 \text{m.steam} &= 966.800,03 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

Tabel B.23 Neraca Panas pada Reaktor Peroksida

Masuk		Keluar	
Q27	91.350.482,48	Q28	494.515.346,75
Qsupply	424.367.206,71	Qloss	21.221.260,74
ΔH_{reaksi}	18.918,30		
Q26	165.990.154,89		
Jumlah	515.736.607,49	Jumlah	515.736.607,49

9. Heat Exchanger Washer 2

Fungsi : Sebagai alat perpindahan panas



Sat.Steam (°C)	Hs(liquid)	hs(vapour)	ΔH (kJ/kg)	ΔH (kcal/kg)
225	2803,3	966,78	1836,52	438,94

Masuk				
Aliran Air (Water Process)				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Air	369.033,91	0,24	5	440.432,80
Jumlah				440.432,80
Q Supply				
Komponen	Massa	λ	$Q=m.\lambda$	
Air	38.844,69	438,94	17.050.486,59	
Jumlah				17.050.486,59

Keluar				
Aliran 42 (Air)				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Air	369.033,91	1,00	45	16.638.278,53
Jumlah				16.638.278,53
QLoss				
Komponen	Massa	λ	$Q=m.\lambda$	
Air	38.844,69	21,95	852.640,86	
Jumlah				852.640,86

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{supply}} &= m_{\text{steam}} \times \lambda \\
 &= m_{\text{steam}} \times 438,94 \\
 &= 438,94 \text{ m.steam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{loss}} &= 5\% \times Q_{\text{supply}} \\
 &= 5\% \times 438,94 \text{ m.steam} \\
 &= 21,95 \text{ m.steam}
 \end{aligned}$$

Neraca Panas :

$$Q_{\text{Air (WP)}} + Q_{\text{Supply}} = Q_{\text{29 Air}} + Q_{\text{loss}}$$

$$440.432,80 + 438,94 \text{ m.steam} = 16.638.278,53 + 21,95 \text{ m.steam}$$

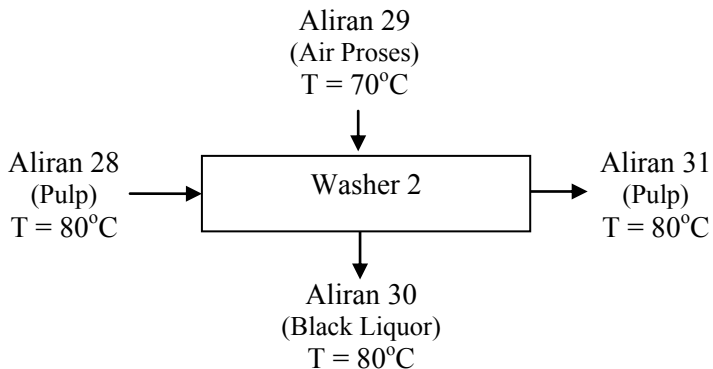
Maka, m_{steam} yang dibutuhkan 38.844,69 kkal

Tabel B.24 Neraca Panas pada Heat Exchanger Washer 1

Masuk		Keluar	
Q _{air (WP)}	440.432,80	Q _{29 (Air)}	16.638.278,53
Q _{supply}	17.050.486,59	Q _{loss}	852.640,86
Jumlah	17.490.919,39	Jumlah	17.490.919,39

10. Washer 2

Fungsi : Untuk mencuci pulp dari black liquor dengan menggunakan air



Masuk				
Aliran 28				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Selulosa	135.495,65	0,32	55	2.360.171,52
Pentosan	2.914,43	0,31	55	50.353,64
Lignin	3.067,83	0,31	55	52.610,02
Air	37.461.673,57	1,00	55	2.067.778.728,85
H ₂ O ₂	4.090,43	0,29	55	66.358,57
NaOH	2.045,22	0,97	55	109.112,35
Lignin Sisa	2.045,22	0,31	55	35.073,34
Pentosan Sisa	1.902,86	0,31	55	32.876,27
H ₂ O ₂ [S]	65,74	0,29	55	1.066,48
NaOH [S]	32,87	0,97	55	1.753,59
(C ₁₀ H ₁₀ O ₂)				
Na[S]	27,48	0,31	55	463,76
H ₂ O [S]	5,35	0,24	55	70,20
		0,22		
O ₂ [S]	4,753	0	55	57,51
HO[S]	2,52	0,29	55	40,96
Jumlah				2.070.488.737,07
Aliran 29				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Air Proses	369.033,91	1,00	45	16.666.061,91
Jumlah				16.666.061,91

Keluar				
Aliran 31				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Selulosa	132.905,24	0,32	54,90	2.310.946,66
Pentosan	2.856,15	0,31	54,90	49.259,11
Lignin	3.006,47	0,31	54,90	51.466,44
Air pada pulp	756.614,15	1,00	54,90	41.688.950,32
Jumlah				44.100.622,52

Aliran 30				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Black Liquor :				
H ₂ O ₂	4.090,43	0,29	54,90	66.240,97
NaOH	2.045,22	0,97	54,90	108.918,97
Lignin Sisa	2.045,22	0,31	54,90	35.011,18
Pentosan Sisa	1.902,86	0,31	54,90	32.818,01
H ₂ O ₂ [S]	65,74	0,29	54,90	1.064,59
NaOH [S]	32,87	0,97	54,90	1.750,48
(C ₁₀ H ₁₀ O ₂)				
Na[S]	27,48	0,31	54,90	462,94
H ₂ O [S]	5,35	0,24	54,90	70,07
		0,22		
O ₂ [S]	4,75	0	54,90	57,41
HO[S]	2,52	0,29	54,90	40,89
	37.074.093,			
Air	33	1,00	54,90	2.042.758.565,56
Selulosa	2.709,91	0,32	54,90	47.119,77
Lignin	61,36	0,31	54,90	1.050,34
Pentosan	58,29	0,31	54,90	1.005,29
Jumlah				2.043.054.176,46

Neraca Panas (*Smith, 2005*)

$$Q_{Masuk} = \sum N_i C_{p_i} dT$$

Neraca Panas :

$$Q_{13} + Q_{16} = Q_{17} + Q_{18}$$

$$2.070.488.737,07 + 16.666.061,91 = 803.253,11 + 37.212.391,43$$

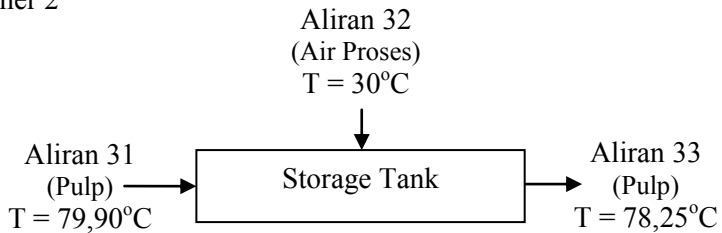
Dari perhitungan didapatkan temperatur keluar yaitu 52,61°C

Tabel B.25 Neraca Panas pada Washer 2

Masuk		Keluar	
Q28	2.070.488.737,07	Q31	44.100.622,52
Q29	16.666.061,91	Q30	2.043.054.176,46
Jumlah	2.087.154.798,98	Jumlah	2.087.154.798,98

11. Storage Tank

Fungsi : Untuk menampung bubur pulp yang telah di proses di washer 2



Masuk				
Aliran 31				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Selulosa	132.905,24	0,32	55	2.310.840,46
Pentosan	2.856,15	0,31	55	49.346,57
Lignin	3.006,47	0,31	55	51.557,82
Air pada pulp	756.614,15	1,00	55	41.762.967,20
Jumlah				44.174.712,04
Aliran 32				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Air Proses	29.737,03	0,24	5	35.490,40
Jumlah				35.490,40

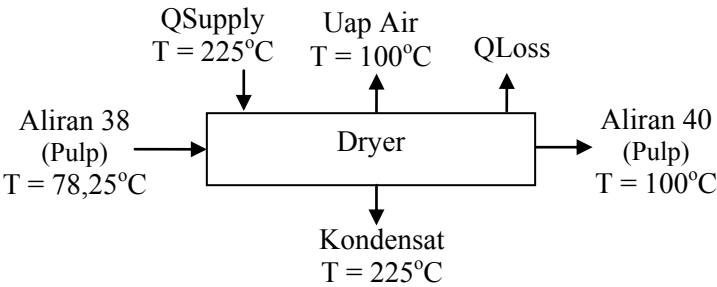
Keluar				
Aliran 33				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	$Q=m.Cp.\Delta T$
Selulosa	132.905,24	0,32	53	2.241.283,50
Pentosan	2.856,15	0,31	53	47.774,20
Lignin	3.006,47	0,31	53	49.914,99
Air	786.351,18	1,00	53	41.871.229,76
Jumlah				44.210.202,45

Tabel B.26 Neraca Panas pada Storage Tank

Masuk		Keluar	
Q31	44.174.712,04	Q33	44.210.202,45
Q32	35.490,40		
Jumlah	44.210.202,45	Jumlah	44.210.202,45

12. Dryer

Fungsi : Untuk mengurangi kadar air pulp hingga 10%



Sat.Steam (°C)	Hs(liquid)	hs(vapour)	ΔH (kJ/kg)	ΔH (kkal/kg)
225	2803,3	966,78	1836,52	438,94
100	2740,3	610,63	2129,67	509,00

Masuk				
Aliran 38				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	Q=m.Cp.ΔT
Selulosa	132.905,24	0,32	53	2.241.388,97
Pentosan	2.856,15	0,31	53	47.776,45
Lignin	3.006,47	0,31	53	49.917,34
Air	39.139,65	1,00	53	2.084.186,43
Jumlah				4.423.269,19

Keluar				
Aliran 40				
Komponen	Massa	Cp	ΔT	Q=m.Cp.ΔT
Selulosa	132.905,24	0,32	75	3.156.885,87
Pentosan	2.856,15	0,32	75	67.841,77
Lignin	3.006,47	0,31	75	70.306,11
Air	15.418,65	1,00	75	1.156.398,79
Jumlah				4.451.432,55
Uap Air 100°C				
Komponen	Massa	λ		Q=m. λ
Air	23.721,00	509,00		12.074.068,79
Jumlah				12.074.068,79

$$Q_{\text{supply}} = m_{\text{steam}} \times \lambda$$

$$= 509 \text{ m.steam}$$

$$Q_{\text{loss}} = 5\% \times Q_{\text{supply}}$$

$$= 5\% \times 509 \text{ m.steam}$$

$$= 25,45 \text{ m.steam}$$

Neraca Panas :

$$H_{38} + Q_{\text{Supply}} = H_{40} + H_{\text{Uap Air}} + Q_{\text{loss}}$$

$$4.423.269,19 + 509 \text{ m.steam} = 4.451.432,55 + 12.074.068,79$$

$$+ 25,45 \text{ m.steam}$$

$$\text{m.steam} = 25.027,88$$

$$Q_{\text{supply}} = 12.739.191,73 \text{ kkal}$$

$$Q_{\text{loss}} = 636.959,59 \text{ kkal}$$

Tabel B.27 Neraca Panas pada Dryer

Masuk		Keluar	
Q38	4.423.269,19	Q40	4.451.432,55
Qsupply	12.739.191,73	Q39	12.074.068,79
		Qloss	636.959,59
Jumlah	17.162.460,92	Jumlah	17.162.460,92

APPENDIKS C

SPESIFIKASI ALAT

1. Tangki Penampung CH_3COOH

- Fungsi : Menyimpan CH_3COOH
- Bahan : *Carbon steel SA-285 Grade C*
- Bentuk : Silinder vertikal dengan alas datar dan tutup ellipsoidal
- Jenis sambungan : *Single welded butt joint with backing strip*
- Jumlah : 1 unit
- Tekanan : 101,325 kPa
- Temperatur : 30 °C
- Laju alir massa : 38546,62632 kg/jam
- Faktor kelonggaran : 20 %

Perhitungan

A. Volume Larutan

$$V_1 = (3541 \text{ kg/jam} \times 30 \text{ hari} \times 24 \text{ jam/hari}) / 1049,2$$

$$\text{kg/m}^3 = 2429,965688 \text{ m}^3$$

Faktor kelonggaran sebesar 20 % maka :

$$\text{Volume tangki} = 1,2 \times 2429,965688 \text{ m}^3 = 2915,95$$

B. Diameter dan Tinggi Shell

- Tinggi shell (H_s) : Diameter (D) = 4 : 3
- Tinggi tutup (H_d) : Diameter (D) = 1 : 4
- Volume shell tangki (V_s)

$$V_s = \pi R^2 H_s = \frac{\pi}{4} D^2 \left(\frac{4}{3}\right) D$$

- Volume tutup tangki (V_e)

$$V_h = \frac{2\pi}{3} R^2 H_d = \frac{\pi}{6} D^2 \left(\frac{1}{4}\right) D$$

- Volume tangki (V)

$$V_t = V_s + V_h$$

$$= 3/8 \pi D^3$$

$$2915,95 = 1,1781 D^3$$

$$D^3 = 2476,398154$$

$$D = 13,5292 \text{ m} = 532,6456693 \text{ in}$$

$$H_s = 4/3 D = 18,03893333 \text{ m}$$

C. Diameter dan Tinggi Tutup

- Diameter tutup = diameter tangki = 13,5292 m
- Tinggi tutup(H_d) = $\frac{1}{4} D = 3,3823 \text{ m}$
- Tinggi tangki = $H_s + H_d = (18,03893333 + 3,3823) = 21,42123333 \text{ m}$

D. Tebal *Shell* Tangki

Direncanakan menggunakan bahan konstruksi Carbon steel SA-285 Grade C, diperoleh data :

- Allowable stress (S) = 13750 psia
- Joint efficiency (E) = 0,8
- Corrosion allowance = 0,25 mm/tahun
= 0,0098/ tahun
- Umur tangki = 10 tahun
- Volume cairan = 2429,965688 m^3
- Tinggi cairan dalam tangki

$$= \frac{2429,965688}{2915,958826} \times 21,42123333 = 17,85102778 \text{ m}$$
- Tekanan hidrostatik :

$$P \text{ hidrostatik} = \rho \times g \times l$$

$$= 1049,2 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/det}^2 \times 17,85102778 \text{ m}$$

$$= 183,5471238 \text{ kPa}$$
- P_o = 101,325 kPa
- P' = 183,5471238 + 101,325
= 284,8721238 kPa
- $P \text{ design}$ = 1,2 x 284,8721238 = 341,8465485 kPa
= 49,58609639 psi
- Tebal *shell* tangki :

$$= t \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

Dimana,

P = tekanan desain (psig)

R = jari-jari dalam tangki (in)

S = allowable stress (psia)

$E = \text{joint efficiency}$

$$t = \frac{(49,58609639 \text{ psi})(532,6456693 \text{ in})}{(13750 \text{ psia})(0,8) - 0,6(49,58609639 \text{ psi})}$$

$$= 1,203793145$$

- Faktor korosi = 0,0098 in/tahun

Maka tebal *shell* yang dibutuhkan dengan perkiraan umur alat 10 tahun adalah :

$$= 1,203793145 + (10 \times 0,0098)$$

$$= 1,301793145 \text{ in}$$

Tebal *shell* yang digunakan = $\frac{3}{4}$ in

E. Tebal Tutup Tangki

Tutup atas tangki terbuat dari bahan yang sama dengan *shell*. Tebal tutup atas yang digunakan = $\frac{3}{4}$ in.

2. Tangki Pengenceran CH_3COOH 90%

- Fungsi : Mengencerkan CH_3COOH 90%
- Bahan : *Carbon steel SA-285 Grade C*
- Bentuk : Silinder vertikal dengan alas datar dan tutup elipsoidal
- Jenis sambungan : *Single welded butt joint with backing strip*
- Jumlah : 1 unit
- Tekanan : 101,325 kPa
- Temperatur : 30 °C
- Laju alir massa : 10869,5824 kg/jam
- Faktor kelonggaran : 20 %
- Densitas asam asetat: 1049,2 kg/m³

Tabel C.1 Komponen CH_3COOH 90%

Komponen	F (kg/jam)	Fraksi berat	Rho (kg/m ³)	Rho campuran
Asam asetat	9782,625	0,9000	1049,2	944,2800811
Air	407,6083	0,0374	995,647	37,33666724
Air proses	679,3491	0,0625	995,647	62,22795582

Total	10869,5824	1	3040,494	1043,844704
-------	------------	---	----------	-------------

Perhitungan

A. Volume Larutan

$$V1 = (10869,5824 \text{ kg/jam} \times 30 \text{ hari} \times 24 \text{ jam/hari}) / 1043,844704 \text{ kg/m}^3 = 7497,378965 \text{ m}^3$$

Faktor kelonggaran sebesar 20 % maka :

$$\text{Volume tangki} = 1,2 \times 7497,378965 \text{ m}^3 = 8996,854759$$

B. Diameter dan Tinggi Shell

Tinggi shell (Hs) : Diameter (D) = 4 : 3

Tinggi tutup (Hd) : Diameter (D) = 1 : 4

Volume shell tangki (Vs)

$$V_s = \pi R^2 H_s = \frac{\pi}{4} D^2 \left(\frac{4}{3}\right) D$$

Volume tutup tangki (Ve)

$$V_h = \frac{2\pi}{3} R^2 H_4 = \frac{\pi}{6} D^2 \left(\frac{1}{4}\right) D$$

Volume tangki (V)

$$V_t = V_s + V_h$$

$$= 3/8 \pi D^3$$

$$8996,854759 = 1,1781 D^3$$

$$D^3 = 7640,640984$$

$$D = 19,6959348 \text{ m} = 775,4305039 \text{ in}$$

$$H_s = 4/3 D = 26,2612464 \text{ m}$$

C. Diameter dan Tinggi Tutup

Diameter tutup = diameter tangki = 19,6959348 m

Tinggi tutup (Hd) = $\frac{1}{4} D = 4,9239837 \text{ m}$

Tinggi tangki = Hs + Hd = (26,2612464 + 4,9239837) = 31,1852301 m

D. Tebal Shell Tangki

Direncanakan menggunakan bahan konstruksi Carbon steel SA-285 Grade C, diperoleh data :

- Allowable stress (S) = 13750 psia
- Joint efficiency (E) = 0,8
- Corrosion allowance = 0,25 mm/tahun
= 0,0098/ tahun

- Umur tangki = 10 tahun
- Volume cairan = $19513,49745 \text{ m}^3$
- Tinggi cairan dalam tangki

$$= \frac{7497,378965}{8996,854759} \times 31,1852301$$

$$= 25,98769175 \text{ m}$$
- Tekanan hidrostatik :

$$P \text{ hidrostatik} = \rho \times g \times l$$

$$= 1043,844704 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/det}^2 \times 25,98769175 \text{ m}$$

$$= 265845,7212 \text{ kPa}$$

$$P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$P' = 265845,7212 + 101,325$$

$$= 367,170712 \text{ kPa}$$

$$P \text{ design} = 1,2 \times 367,170712$$

$$= 440,6048654 \text{ kPa}$$

$$= 63,91135269 \text{ psi}$$
- Tebal *shell* tangki :

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

Dimana,
 P = tekanan desain (psig)
 R = jari-jari dalam tangki (in)
 S = *allowable stress* (psia)
 E = *joint efficiency*

$$t = \frac{(63,91135269 \text{ psi})(387,715252 \text{ in})}{(13750 \text{ psia})(0,8) - 0,6(63,91135269 \text{ psi})}$$

$$= 2,260553749$$
- Faktor korosi = 0,0098 in/tahun
Maka tebal *shell* yang dibutuhkan dengan perkiraan umur alat 10 tahun adalah

$$= 2,260553749 + (10 \times 0,0098)$$

$$= 2,358553749 \text{ in}$$

Tebal *shell* yang digunakan = $\frac{3}{4}$ in

E. Tebal Tutup Tangki

Tutup atas tangki terbuat dari bahan yang sama dengan *shell*. Tebal tutup atas yang digunakan = $\frac{3}{4}$ in.

F. Power Pengaduk

- Diameter impeler (D_a) = $0,3 \times D_{\text{tangki}}$
 $= 0,3 \times 19,6959348$
 $= 5,90878044 \text{ m}$
- Panjang Blade (L) = $D_a : 4$
 $= 5,90878044 : 4 = 1,47719511 \text{ m}$
- Lebar Blade (w) = $D_a : 8$
 $= 5,90878044 : 8$
 $= 0,738597555 \text{ m}$
- Putaran pengaduk = 60 rpm = 1 rps
- Jarak antara dasar dengan pengaduk
 $= D_a : 3 = 5,90878044 : 3 = 1,96959348$
- Viskositas bubur pulp

$$\phi_s = \frac{\text{massa padatan dalam campuran}}{\text{massa air dalam campuran}}$$

$$= \frac{10869,56583}{(679,333 + 9782,625 + 1086,958333)} = 0,941176$$
- Rho Campuran

$$\mu_{\text{campuran}} = \frac{(1 + 0,5\phi_s) \times \mu_l}{(1 - \phi_s)^4}$$

$$= 1043,844704$$
- Nre

$$N_{re} = \frac{D_a^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu}$$

$$= \frac{(5,90878044)^2 \times 1 \times 1043,844704}{0,941176}$$

$$= 38722,25$$
- Maka tipe blade yang di gunakan adalah flat six blade open turbine. (*Geankoplis, 2003*)
- Menggunakan fig 3.4-5, *Geankoplis 4th edition p.159*, untuk menentukan Power pengaduk :
- $N_p = 3,5$

$$\begin{aligned}
 P &= N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D_a^5 \\
 &= 3,5 \cdot 1043,844704 \cdot 1^3 \cdot 5,90878044^5 \\
 &= 26314382,51 \text{ J/s} \\
 &= 26348,73877 \text{ Kw} \\
 &= 35374,2736 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

3. Tangki Impregnasi

- Fungsi : Agar bahan kimia Asam Asetat 90% dapat masuk ke pori melalui struktur kapiler bambu.
- Bahan konstruksi : *Carbon steel SA-285 Grade C*
- Bentuk : Silinder vertikal dengan alas datar dan tutup *ellipsoidal*
- Jenis sambungan : *Single welded butt joint with backing strip*
- Jumlah : 1 unit
- Tekanan : 7,8 atm
- Temperatur : 30 °C
- Laju alir massa : 22418,48246 kg/jam
- Faktor kelonggaran : 20 %
- Densitas asam asetat : 1049,2 kg/m³

Tabel C.2 Komponen Pulp pada Tangki Impregnasi

Komponen	F (kg/jam)	Fraksi berat	ρ (kg/m ³)	ρ campuran (kg/m ³)
Pulp	10869,5658	0,484848	600	290,9090
Air proses	679,3333	0,030303	995,647	30,1704
Asam asetat	9782,625	0,436364	1049,2	457,833
Air	1086,9583	0,000242	995,647	48,2738
Total	22418,4824	1	3640,494	827,1867

Perhitungan

A. Volume Larutan

$$V1 = (22418,4824 \text{ kg/jam} \times 30 \text{ hari} \times 24 \text{ jam/hari}) / 1049,2 \text{ kg/m}^3 = 19513,49745 \text{ m}^3$$

Faktor kelonggaran sebesar 20 % maka :

$$\text{Volume tangki} = 1,2 \times 19513,49745 \text{ m}^3 = 23416,19694$$

B. Diameter dan Tinggi Shell

$$\text{Tinggi shell (Hs)} : \text{Diameter (D)} = 4 : 3$$

$$\text{Tinggi tutup (Hd)} : \text{Diameter (D)} = 1 : 4$$

$$\text{Volume shell tangki (Vs)}$$

$$V_s = \pi R^2 H_s = \frac{\pi}{4} D^2 \left(\frac{4}{3}\right) D$$

$$\text{Volume tutup tangki (Vh)}$$

$$V_h = \frac{2\pi}{3} R^2 H_d = \frac{\pi}{6} D^2 \left(\frac{1}{4}\right) D$$

$$\text{Volume tangki (V)}$$

$$V_t = V_s + V_h$$

$$= 3/8 \pi D^3$$

$$23416,19694 = 1,1781 D^3$$

$$D^3 = 19886,3668$$

$$D = 27,09267 \text{ m} = 1066,640 \text{ in}$$

$$H_s = 4/3 D = 36,12356 \text{ m}$$

C. Diameter dan Tinggi Tutup

$$\text{Diameter tutup} = \text{diameter tangki} = 27,09267 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi tutup (Hd)} = 1/4 D = 6,77316 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi tangki} = H_s + H_d = (36,12356 + 6,77316) = 42,89 \text{ m}$$

D. Tebal Shell Tangki

Direncanakan menggunakan bahan konstruksi Carbon steel SA-285 Grade C, diperoleh data :

- Allowable stress (S) = 13750 psia
- Joint efficiency (E) = 0,8
- Corrosion allowance = 0,25 mm/tahun
= 0,0098/ tahun
- Umur tangki = 10 tahun
- Volume cairan = 19513,49745 m³
- Tinggi cairan dalam tangki

$$= \frac{19513,49745}{23416,19694} \times 42,89672$$

$$= 35,74727 \text{ m}$$

- Tekanan hidrostatik :

$$\begin{aligned} P \text{ hidrostatik} &= \rho \times g \times l \\ &= 827,1867 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/det}^2 \times \\ &\quad 827,1867 \text{ m} \\ &= 289,782786 \text{ kPa} \\ P_o &= 101,325 \text{ kPa} \\ P' &= 289,782786 \text{ kPa} + 101,325 \\ &= 391,107786 \text{ kPa} \\ P \text{ design} &= 1,2 \times 391,107786 \text{ kPa} \\ &= 469,3293432 \text{ kPa} \\ &= 68,07794361 \text{ psi} \end{aligned}$$

- Tebal *shell* tangki :

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

Dimana,

P = tekanan desain (psig)

R = jari-jari dalam tangki (in)

S = *allowable stress* (psia)

E = *joint efficiency*

$$t = \frac{(68,07794361 \text{ psi})(533,3202 \text{ in})}{(13750 \text{ psia})(0,8) - 0,6(68,07794361 \text{ psi})}$$

$$= 3,31297016$$

- Faktor korosi = 0,0098 in/tahun
Maka tebal *shell* yang dibutuhkan dengan perkiraan umur alat 10 tahun adalah
= 3,31297016 + (10 x 0,0098)
= 3,41097016 in
Tebal *shell* yang digunakan = $\frac{3}{4}$ in

E. Tebal Tutup Tangki

Tutup atas tangki terbuat dari bahan yang sama dengan *shell*. Tebal tutup atas yang digunakan = $\frac{3}{4}$ in.

F. Power Pengaduk

- Diameter impeler (D_a) = $0,3 \times D_{\text{tangki}}$
 $= 0,3 \times 27,09267$
 $= 8,127801$
- Panjang Blade (L) = $D_a : 4$
 $= 8,127801 : 4 = 2,03195$
- Lebar Blade (w) = $D_a : 8$
 $= 8,127801 : 8 = 1,01597$
- Putaran pengaduk = 60 rpm = 1 rps
- Jarak antara dasar dengan pengaduk
 $D_a : 3 = 2,7092$
- Viskositas bubur pulp

$$\phi_s = \frac{\text{massa padatan dalam campuran}}{\text{massa air dalam campuran}}$$

$$= \frac{260869,6}{277174} = 0,9411$$
- Rho Campuran

$$\mu_{\text{campuran}} = \frac{(1 + 0,5\phi_s) \times \mu_l}{(1 - \phi_s)^4}$$

$$= 827,186793$$
- Nre

$$N_{re} = \frac{D_a^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu}$$

$$= \frac{(8,127801)^2 \times 1 \times 827,186793}{0,9411}$$

$$= 58060,23021$$
- Maka tipe blade yang di gunakan adalah flat six blade open turbine. (*Geankoplis, 2003*)
- Menggunakan fig 3.4-5, *Geankoplis 4th edition p.159*, untuk menentukan Power pengaduk :
- $N_p = 3,5$

$$P = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D_a^5$$

$$= 3,5 \cdot 827,186793 \cdot 1^3 \cdot 8,127801^5$$

$$= 102692078 \text{ J/s}$$

$$= 102826,1505 \text{ Kw}$$

$$= 102826,1505 \text{ hp}$$

4. Tangki Pengenceran Hidrogen Peroksida 2,5%

- Fungsi : Mengencerkan H_2O_2 2,5%
- Bahan konstruksi : *Carbon steel SA-285 Grade C*
- Bentuk : Silinder vertikal dengan alas datar dan tutup *ellipsoidal*
- Jenis sambungan : *Single welded butt joint with backing strip*
- Jumlah : 1 unit
- Tekanan : 101,325 kPa
- Temperatur : 30 °C
- Laju alir massa : 22418,48246 kg/jam
- Faktor kelonggaran : 20 %

Tabel C.3 Komponen Pulp pada Tangki Pengenceran H_2O_2

Komponen	F (kg/jam)	Fraksi berat	ρ (kg/m ³)	ρ campuran (kg/m ³)
Hidrogen peroksida	173,17375	0,024999977	1007,65	25,191
Air	321,60875	0,046428581	995,647	46,226
Air proses	6432,17375	0,928571441	995,647	924,529
Total	6926,95625	1	2998,944	995,947

Perhitungan

A. Volume Larutan

$$V_1 = (22418,4824 \text{ kg/jam} \times 30 \text{ hari} \times 24 \text{ jam/hari}) / 1049,2 \text{ kg/m}^3 = 19513,49745 \text{ m}^3$$

Faktor kelonggaran sebesar 20 % maka :

$$\text{Volume tangki} = 1,2 \times 19513,49745 \text{ m}^3 = 23416,19694$$

B. Diameter dan Tinggi Shell

Tinggi shell (H_s) : Diameter (D) = 4 : 3

Tinggi tutup (H_d) : Diameter (D) = 1 : 4

Volume shell tangki (V_s)

$$V_s = \pi R^2 H_s = \frac{\pi}{4} D^2 \left(\frac{4}{3}\right) D$$

Volume tutup tangki (V_t)

$$V_h = \frac{2\pi}{3} R^2 H_4 = \frac{\pi}{6} D^2 \left(\frac{1}{4}\right) D$$

Volume tangki (V)

$$V_t = V_s + V_h$$

$$= 3/8 \pi D^3$$

$$23416,19694 = 1,1781 D^3$$

$$D^3 = 19886,3668$$

$$D = 27,09267 \text{ m} = 1066,640 \text{ in}$$

$$H_s = 4/3 D = 36,12356 \text{ m}$$

C. Diameter dan Tinggi Tutup

Diameter tutup = diameter tangki = 27,09267 m

Tinggi tutup (H_d) = $\frac{1}{4} D = 6,77316 \text{ m}$

Tinggi tangki = $H_s + H_d = (36,12356 + 6,77316)$
 $= 42,89 \text{ m}$

D. Tebal *Shell* Tangki

Direncanakan menggunakan bahan konstruksi Carbon steel SA-285 Grade C, diperoleh data :

- Allowable stress (S) = 13750 psia
- Joint efficiency (E) = 0,8
- Corrosion allowance = 0,25 mm/tahun
 = 0,0098/ tahun
- Umur tangki = 10 tahun
- Volume cairan = $19513,49745 \text{ m}^3$
- Tinggi cairan dalam tangki
 $= \frac{19513,49745}{23416,19694} \times 42,89672$
 $= 35,74727 \text{ m}$
- Tekanan hidrostatik :
 $P \text{ hidrostatik} = \rho \times g \times l$
 $= 827,1867 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/det}^2 \times$
 $827,1867 \text{ m}$
 $= 289,782786 \text{ kPa}$
 $P_o = 101,325 \text{ kPa}$
 $P' = 289,782786 \text{ kPa} + 101,325$
 $= 391,107786 \text{ kPa}$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{design}} &= 1,2 \times 391,107786 \text{ kPa} \\
 &= 469,3293432 \text{ kPa} \\
 &= 68,07794361 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

- Tebal *shell* tangki :

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

Dimana,

P = tekanan desain (psig)

R = jari-jari dalam tangki (in)

S = *allowable stress* (psia)

E = *joint efficiency*

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{(68,07794361 \text{ psi})(533,3202 \text{ in})}{(13750 \text{ psia})(0,8) - 0,6(68,07794361 \text{ psi})} \\
 &= 3,31297016
 \end{aligned}$$

- Faktor korosi = 0,0098 in/tahun
Maka tebal *shell* yang dibutuhkan dengan perkiraan umur alat 10 tahun adalah

$$= 3,31297016 + (10 \times 0,0098)$$

$$= 3,41097016 \text{ in}$$
 Tebal *shell* yang digunakan = $\frac{3}{4}$ in

E. Tebal Tutup Tangki

Tutup atas tangki terbuat dari bahan yang sama dengan *shell*. Tebal tutup atas yang digunakan = $\frac{3}{4}$ in.

F. Power Pengaduk

- Diameter impeler (D_a) = $0,3 \times D_{\text{tangki}}$

$$= 0,3 \times 27,09267$$

$$= 8,127801$$
- Panjang Blade (L) = $D_a : 4$

$$= 8,127801 : 4 = 2,03195$$
- Lebar Blade (w) = $D_a : 8$

$$= 8,127801 : 8 = 1,01597$$
- Putaran pengaduk = 60 rpm = 1 rps
- Jarak antara dasar dengan pengaduk

$$D_a : 3 = 2,7092$$
- Viskositas bubur pulp

$$\phi_s = \frac{\text{massa padatan dalam campuran}}{\text{massa air dalam campuran}}$$

$$= \frac{260869,6}{277174} = 0,9411$$

- Rho Campuran

$$\mu_{\text{campuran}} = \frac{(1 + 0,5\phi_s) \times \mu_1}{(1 - \phi_s)^4}$$

$$= 827,186793$$

- Nre

$$N_{re} = \frac{D_a^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu}$$

$$= \frac{(8,127801)^2 \times 1 \times 827,186793}{0,9411}$$

$$= 58060,23021$$

- Maka tipe blade yang di gunakan adalah flat six blade open turbine. (*Geankoplis, 2003*)
- Menggunakan fig 3.4-5, *Geankoplis 4th edition p.159*, untuk menentukan Power pengaduk :
- $N_p = 3,5$

$$P = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D_a^5$$

$$= 3,5 \cdot 827,186793 \cdot 1^3 \cdot 8,127801^5$$

$$= 102692078 \text{ J/s}$$

$$= 102826,1505 \text{ Kw}$$

$$= 102826,1505 \text{ hp}$$

5. Tangki Pengenceran NaOH 1,25%

- Fungsi : Mengencerkan NaOH 1,25%
- Bahan konstruksi : *Carbon steel SA-285 Grade C*
- Bentuk : Silinder vertikal dengan alas datar dan tutup *ellipsoidal*
- Jenis sambungan : *Single welded butt joint with backing strip*
- Jumlah : 1 unit
- Tekanan : 101,325 kPa

- Temperatur : 30 °C
- Laju alir massa : 22418,48246 kg/jam
- Faktor kelonggaran : 20 %

Tabel C.4 Komponen Pulp pada Tangki Pengenceran NaOH

Komponen	F (kg/jam)	Fraksi berat	ρ (kg/m ³)	ρ campuran (kg/m ³)
Natrium hidroksida	173,17375	0,024999977	1007,65	25,191
Air	321,60875	0,046428581	995,647	46,226
Air proses	6432,17375	0,928571441	995,647	924,529
Total	6926,95625	1	2998,944	995,947

Perhitungan**A. Volume Larutan**

$$V_1 = (22418,4824 \text{ kg/jam} \times 30 \text{ hari} \times 24 \text{ jam/hari}) / 1049,2 \text{ kg/m}^3 = 19513,49745 \text{ m}^3$$

Faktor kelonggaran sebesar 20 % maka :

$$\text{Volume tangki} = 1,2 \times 19513,49745 \text{ m}^3 = 23416,19694$$

B. Diameter dan Tinggi Shell

Tinggi shell (Hs) : Diameter (D) = 4 : 3

Tinggi tutup (Hd) : Diameter (D) = 1 : 4

Volume shell tangki (Vs)

$$V_s = \pi R^2 H_s = \frac{\pi}{4} D^2 \left(\frac{4}{3}\right) D$$

Volume tutup tangki (Ve)

$$V_h = \frac{2\pi}{3} R^2 H_4 = \frac{\pi}{6} D^2 \left(\frac{1}{4}\right) D$$

Volume tangki (V)

$$V_t = V_s + V_h$$

$$= 3/8 \pi D^3$$

$$23416,19694 = 1,1781 D^3$$

$$D^3 = 19886,3668$$

$$D = 27,09267 \text{ m} = 1066,640 \text{ in}$$

$$H_s = 4/3 D = 36,12356 \text{ m}$$

C. Diameter dan Tinggi Tutup

Diameter tutup = diameter tangki = 27,09267 m

Tinggi tutup(Hd) = $\frac{1}{4}$ D = 6,77316 m

Tinggi tangki = Hs + Hd = (36,12356 + 6,77316)
= 42,89 m

D. Tebal *Shell* Tangki

Direncanakan menggunakan bahan konstruksi Carbon steel SA-285 Grade C, diperoleh data :

- Allowable stress (S) = 13750 psia
- Joint efficiency (E) = 0,8
- Corrosion allowance = 0,25 mm/tahun
= 0,0098/ tahun
- Umur tangki = 10 tahun
- Volume cairan = 19513,49745 m³
- Tinggi cairan dalam tangki
= $\frac{19513,49745}{23416,19694} \times 42,89672$
= 35,74727 m
- Tekanan hidrostatik :
 P hidrostatik = $\rho \times g \times l$
 = 827,1867kg/m³ x 9,8 m/det² x
 827,1867m
 = 289,782786 kPa
 Po = 101,325 kPa
 P' = 289,782786 kPa + 101,325
 = 391,107786 kPa
 P design = 1,2 x 391,107786 kPa
 = 469,3293432 kPa
 = 68,07794361 psi
- Tebal *shell* tangki :

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$
 Dimana,
 P = tekanan desain (psig)
 R = jari-jari dalam tangki (in)
 S = allowable stress (psia)

$E = \text{joint efficiency}$

$$t = \frac{(68,07794361 \text{ psi})(533,3202 \text{ in})}{(13750 \text{ psia})(0,8) - 0,6(68,07794361 \text{ psi})}$$

$$= 3,31297016$$

- Faktor korosi = 0,0098 in/tahun
Maka tebal *shell* yang dibutuhkan dengan perkiraan umur alat 10 tahun adalah
 $= 3,31297016 + (10 \times 0,0098)$
 $= 3,41097016 \text{ in}$
 Tebal *shell* yang digunakan = $\frac{3}{4} \text{ in}$

E. Tebal Tutup Tangki

Tutup atas tangki terbuat dari bahan yang sama dengan *shell*. Tebal tutup atas yang digunakan = $\frac{3}{4} \text{ in}$.

F. Power Pengaduk

- Diameter impeler (D_a) = $0,3 \times D_{\text{tangki}}$
 $= 0,3 \times 27,09267$
 $= 8,127801$
- Panjang Blade (L) = $D_a : 4$
 $= 8,127801 : 4 = 2,03195$
- Lebar Blade (w) = $D_a : 8$
 $= 8,127801 : 8 = 1,01597$
- Putaran pengaduk = 60 rpm = 1 rps
- Jarak antara dasar dengan pengaduk
 $D_a : 3 = 2,7092$
- Viskositas bubur pulp
 $\phi_s = \frac{\text{massa padatan dalam campuran}}{\text{massa air dalam campuran}}$
 $= \frac{260869,6}{277174} = 0,9411$
- Rho Campuran
 $\mu_{\text{campuran}} = \frac{(1 + 0,5\phi_s) \times \mu_l}{(1 - \phi_s)^4}$
 $= 827,186793$
- Nre

$$N_{re} = \frac{D_a^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu}$$

$$= \frac{(8,127801)^2 \times 1 \times 827,186793}{0,9411}$$

$$= 58060,23021$$

- Maka tipe blade yang di gunakan adalah flat six blade open turbine. (*Geankoplis, 2003*)
- Menggunakan fig 3.4-5, *Geankoplis 4th edition p.159*, untuk menentukan Power pengaduk :
- $N_p = 3,5$

$$P = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D_a^5$$

$$= 3,5 \cdot 827,186793 \cdot 1^3 \cdot 8,127801^5$$

$$= 102692078 \text{ J/s}$$

$$= 102826,1505 \text{ Kw}$$

$$= 102826,1505 \text{ hp}$$

6. Tangki Mixing Peroksida

- Fungsi : Tempat proses pencampuran bahan kimia
- Bahan konstruksi : *Carbon steel SA-285 Grade C*
- Bentuk : Silinder vertikal dengan alas datar dan tutup *ellipsoidal*
- Jenis sambungan : *Single welded butt joint with backing strip*
- Jumlah : 1 unit
- Tekanan : 101,325 kPa
- Temperatur : 30 °C
- Laju alir massa : 22418,48246 kg/jam
- Faktor kelonggaran : 20 %

Tabel C.5 Komponen Pulp pada Tangki Mixing Peroksida

Komponen	F (kg/jam)	Fraksi berat	ρ (kg/m ³)	ρ campuran (kg/m ³)
Hidrogen peroksida	173,17375	0,02499	1007,65	25,191
Air	321,60875	0,0464	995,647	46,226
Air proses	6432,17375	0,928	995,647	924,529
Total	6926,95625	1	2998,944	995,947

Perhitungan**A. Volume Larutan**

$$V1 = (22418,4824 \text{ kg/jam} \times 30 \text{ hari} \times 24 \text{ jam/hari}) / 1049,2 \text{ kg/m}^3 = 19513,49745 \text{ m}^3$$

Faktor kelonggaran sebesar 20 % maka :

$$\text{Volume tangki} = 1,2 \times 19513,49745 \text{ m}^3 = 23416,19694$$

B. Diameter dan Tinggi Shell

Tinggi shell (Hs) : Diameter (D) = 4 : 3

Tinggi tutup (Hd) : Diameter (D) = 1 : 4

Volume shell tangki (Vs)

$$V_s = \pi R^2 H_s = \frac{\pi}{4} D^2 \left(\frac{4}{3}\right) D$$

Volume tutup tangki (Ve)

$$V_h = \frac{2\pi}{3} R^2 H_d = \frac{\pi}{6} D^2 \left(\frac{1}{4}\right) D$$

Volume tangki (V)

$$V_t = V_s + V_h$$

$$= 3/8 \pi D^3$$

$$23416,19694 = 1,1781 D^3$$

$$D^3 = 19886,3668$$

$$D = 27,09267 \text{ m} = 1066,640 \text{ in}$$

$$H_s = 4/3 D = 36,12356 \text{ m}$$

C. Diameter dan Tinggi Tutup

Diameter tutup = diameter tangki = 27,09267 m

Tinggi tutup (Hd) = $\frac{1}{4} D = 6,77316 \text{ m}$

$$\begin{aligned}\text{Tinggi tangki} &= H_s + H_d = (36,12356 + 6,77316) \\ &= 42,89 \text{ m}\end{aligned}$$

D. Tebal *Shell* Tangki

Direncanakan menggunakan bahan konstruksi Carbon steel SA-285 Grade C, diperoleh data :

- *Allowable stress* (*S*) = 13750 psia
- *Joint efficiency* (*E*) = 0,8
- *Corrosion allowance* = 0,25 mm/tahun
= 0,0098/ tahun
- Umur tangki = 10 tahun
- Volume cairan = $19513,49745 \text{ m}^3$
- Tinggi cairan dalam tangki

$$= \frac{19513,49745}{23416,19694} \times 42,89672$$

$$= 35,74727 \text{ m}$$
- Tekanan hidrostatik :

$$\begin{aligned}P_{\text{hidrostatik}} &= \rho \times g \times l \\ &= 827,1867 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/det}^2 \times \\ &\quad 827,1867 \text{ m} \\ &= 289,782786 \text{ kPa} \\ P_o &= 101,325 \text{ kPa} \\ P' &= 289,782786 \text{ kPa} + 101,325 \\ &= 391,107786 \text{ kPa} \\ P_{\text{design}} &= 1,2 \times 391,107786 \text{ kPa} \\ &= 469,3293432 \text{ kPa} \\ &= 68,07794361 \text{ psi}\end{aligned}$$
- Tebal *shell* tangki :

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

Dimana,

P = tekanan desain (psig)
R = jari-jari dalam tangki (in)
S = *allowable stress* (psia)
E = *joint efficiency*

$$t = \frac{(68,07794361 \text{ psi})(533,3202 \text{ in})}{(13750 \text{ psia})(0,8) - 0,6(68,07794361 \text{ psi})}$$

$$= 3,31297016$$

- Faktor korosi = 0,0098 in/tahun
Maka tebal *shell* yang dibutuhkan dengan perkiraan umur alat 10 tahun adalah

$$= 3,31297016 + (10 \times 0,0098)$$

$$= 3,41097016 \text{ in}$$
 Tebal *shell* yang digunakan = $\frac{3}{4}$ in

E. Tebal Tutup Tangki

Tutup atas tangki terbuat dari bahan yang sama dengan *shell*. Tebal tutup atas yang digunakan = $\frac{3}{4}$ in.

F. Power Pengaduk

- Diameter impeler (D_a) = $0,3 \times D_{\text{tangki}}$

$$= 0,3 \times 27,09267$$

$$= 8,127801$$
- Panjang Blade (L) = $D_a : 4$

$$= 8,127801 : 4 = 2,03195$$
- Lebar Blade (w) = $D_a : 8$

$$= 8,127801 : 8 = 1,01597$$
- Putaran pengaduk = 60 rpm = 1 rps
- Jarak antara dasar dengan pengaduk

$$D_a : 3 = 2,7092$$
- Viskositas bubur pulp

$$\phi_s = \frac{\text{massa padatan dalam campuran}}{\text{massa air dalam campuran}}$$

$$= \frac{260869,6}{277174} = 0,9411$$
- Rho Campuran

$$\mu_{\text{campuran}} = \frac{(1 + 0,5\phi_s) \times \mu_l}{(1 - \phi_s)^4}$$

$$= 827,186793$$
- Nre

$$N_{re} = \frac{D_a^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu}$$

$$= \frac{(8,127801)^2 \times 1 \times 827,186793}{0,9411}$$

$$= 58060,23021$$

- Maka tipe blade yang di gunakan adalah flat six blade open turbine. (*Geankoplis, 2003*)
- Menggunakan fig 3.4-5, *Geankoplis 4th edition p.159*, untuk menentukan Power pengaduk :
- $N_p = 3,5$

$$P = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D_a^5$$

$$= 3,5 \cdot 827,186793 \cdot 1^3 \cdot 8,127801^5$$

$$= 102692078 \text{ J/s}$$

$$= 102826,1505 \text{ Kw}$$

$$= 102826,1505 \text{ hp}$$

7. Brownstock

- Fungsi : Tempat proses pencampuran bahan kimia
- Bahan kontruksi : *Carbon steel SA-285 Grade C*
- Bentuk : Silinder vertikal dengan alas datar dan tutup *ellipsoidal*
- Jenis sambungan : *Single welded butt joint with backing strip*
- Jumlah : 1 unit
- Tekanan : 101,325 kPa
- Temperatur : 30 °C
- Laju alir massa : 22418,48246 kg/jam
- Faktor kelonggaran : 20 %

Tabel C.6 Komponen Pulp pada Brownstock

Komponen	F (kg/jam)	Fraksi berat	ρ (kg/m ³)	ρ campuran (kg/m ³)
Pulp	7140,105	0,041	600	24,738
Air	166033,8	0,9587	995,647	954,595
Total	173173,90	1	1595,647	979,334

Perhitungan**A. Volume Larutan**

$$V1 = (22418,4824 \text{ kg/jam} \times 30 \text{ hari} \times 24 \text{ jam/hari}) / 1049,2 \text{ kg/m}^3 = 19513,49745 \text{ m}^3$$

Faktor kelonggaran sebesar 20 % maka :

$$\text{Volume tangki} = 1,2 \times 19513,49745 \text{ m}^3 = 23416,19694$$

B. Diameter dan Tinggi Shell

$$\text{Tinggi shell (Hs) : Diameter (D)} = 4 : 3$$

$$\text{Tinggi tutup (Hd) : Diameter (D)} = 1 : 4$$

Volume shell tangki (Vs)

$$V_s = \pi R^2 H_s = \frac{\pi}{4} D^2 \left(\frac{4}{3}\right) D$$

Volume tutup tangki (Ve)

$$V_h = \frac{2\pi}{3} R^2 H_4 = \frac{\pi}{6} D^2 \left(\frac{1}{4}\right) D$$

Volume tangki (V)

$$V_t = V_s + V_h$$

$$= 3/8 \pi D^3$$

$$23416,19694 = 1,1781 D^3$$

$$D^3 = 19886,3668$$

$$D = 27,09267 \text{ m} = 1066,640 \text{ in}$$

$$H_s = 4/3 D = 36,12356 \text{ m}$$

C. Diameter dan Tinggi Tutup

$$\text{Diameter tutup} = \text{diameter tangki} = 27,09267 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi tutup (Hd)} = 1/4 D = 6,77316 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi tangki} = H_s + H_d = (36,12356 + 6,77316)$$

$$= 42,89 \text{ m}$$

D. Tebal Shell Tangki

Direncanakan menggunakan bahan konstruksi Carbon steel SA-285 Grade C, diperoleh data :

- Allowable stress (S) = 13750 psia
- Joint efficiency (E) = 0,8
- Corrosion allowance = 0,25 mm/tahun
= 0,0098/ tahun
- Umur tangki = 10 tahun

- Volume cairan = $19513,49745 \text{ m}^3$
- Tinggi cairan dalam tangki

$$= \frac{19513,49745}{23416,19694} \times 42,89672$$

$$= 35,74727 \text{ m}$$
- Tekanan hidrostatik :

$$P \text{ hidrostatik} = \rho \times g \times l$$

$$= 827,1867 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/det}^2 \times 35,74727 \text{ m}$$

$$= 289,782786 \text{ kPa}$$

$$P_o = 101,325 \text{ kPa}$$

$$P' = 289,782786 \text{ kPa} + 101,325$$

$$= 391,107786 \text{ kPa}$$

$$P \text{ design} = 1,2 \times 391,107786 \text{ kPa}$$

$$= 469,3293432 \text{ kPa}$$

$$= 68,07794361 \text{ psi}$$
- Tebal *shell* tangki :

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

Dimana,
 P = tekanan desain (psig)
 R = jari-jari dalam tangki (in)
 S = *allowable stress* (psia)
 E = *joint efficiency*

$$t = \frac{(68,07794361 \text{ psi})(533,3202 \text{ in})}{(13750 \text{ psia})(0,8) - 0,6(68,07794361 \text{ psi})}$$

$$= 3,31297016$$
- Faktor korosi = 0,0098 in/tahun
Maka tebal *shell* yang dibutuhkan dengan perkiraan umur alat 10 tahun adalah

$$= 3,31297016 + (10 \times 0,0098)$$

$$= 3,41097016 \text{ in}$$
Tebal *shell* yang digunakan = $\frac{3}{4} \text{ in}$

E. Tebal Tutup Tangki

Tutup atas tangki terbuat dari bahan yang sama dengan *shell*. Tebal tutup atas yang digunakan = $\frac{3}{4}$ in.

F. Power Pengaduk

- Diameter impeler (D_a) = $0,3 \times D_{\text{tangki}}$
 $= 0,3 \times 27,09267$
 $= 8,127801$
- Panjang Blade (L) = $D_a : 4$
 $= 8,127801 : 4 = 2,03195$
- Lebar Blade (w) = $D_a : 8$
 $= 8,127801 : 8 = 1,01597$
- Putaran pengaduk = 60 rpm = 1 rps
- Jarak antara dasar dengan pengaduk
 $D_a : 3 = 2,7092$
- Viskositas bubur pulp

$$\phi_s = \frac{\text{massa padatan dalam campuran}}{\text{massa air dalam campuran}}$$

$$= \frac{260869,6}{277174} = 0,9411$$
- Rho Campuran

$$\mu_{\text{campuran}} = \frac{(1 + 0,5\phi_s) \times \mu_l}{(1 - \phi_s)^4}$$

$$= 827,186793$$
- Nre

$$Nre = \frac{D_a^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu}$$

$$= \frac{(8,127801)^2 \times 1 \times 827,186793}{0,9411}$$

$$= 58060,23021$$
- Maka tipe blade yang di gunakan adalah flat six blade open turbine. (*Geankoplis, 2003*)
- Menggunakan fig 3.4-5, *Geankoplis 4th edition p.159*, untuk menentukan Power pengaduk :
- $N_p = 3,5$

$$P = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D_a^5$$

$$\begin{aligned}
 &= 3,5 \cdot 827,186793 \cdot 1^3 \cdot 8,127801^5 \\
 &= 102692078 \text{ J/s} \\
 &= 102826,1505 \text{ Kw} \\
 &= 102826,1505 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

8. Tangki Storage

- Fungsi : Tempat penyimpanan pulp
- Bahan konstruksi : *Carbon steel SA-285 Grade C*
- Bentuk : Silinder vertikal dengan alas datar dan tutup *ellipsoidal*
- Jenis sambungan : *Single welded butt joint with backing strip*
- Jumlah : 1 unit
- Tekanan : 101,325 kPa
- Temperatur : 30 °C
- Laju alir massa : 22418,48246 kg/jam
- Faktor kelonggaran : 20 %

Tabel C.7 Komponen Pulp pada Tangki Storage

Komponen	F (kg/jam)	Fraksi berat	ρ (kg/m ³)	ρ campuran (kg/m ³)
Pulp	37307,58	0,967	600	580,7135991
Air	1239,04	0,032	995,647	32,00407865
Total	38546,62	1	1595,647	612,7176778

Perhitungan

A. Volume Larutan

$$\begin{aligned}
 V_1 &= (22418,4824 \text{ kg/jam} \times 30 \text{ hari} \times 24 \text{ jam/hari}) / \\
 &1049,2 \text{ kg/m}^3 = 19513,49745 \text{ m}^3 \\
 &\text{Faktor kelonggaran sebesar 20 \% maka :} \\
 &\text{Volume tangki} = 1,2 \times 19513,49745 \text{ m}^3 = 23416,19694
 \end{aligned}$$

B. Diameter dan Tinggi Shell

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi shell (Hs) : Diameter (D)} &= 4 : 3 \\
 \text{Tinggi tutup (Hd) : Diameter (D)} &= 1 : 4 \\
 \text{Volume shell tangki (Vs)} &
 \end{aligned}$$

$$V_s = \pi R^2 H_s = \frac{\pi}{4} D^2 \left(\frac{4}{3}\right) D$$

Volume tutup tangki (V_e)

$$V_h = \frac{2\pi}{3} R^2 H_4 = \frac{\pi}{6} D^2 \left(\frac{1}{4}\right) D$$

Volume tangki (V)

$$V_t = V_s + V_h$$

$$= 3/8 \pi D^3$$

$$23416,19694 = 1,1781 D^3$$

$$D^3 = 19886,3668$$

$$D = 27,09267 \text{ m} = 1066,640 \text{ in}$$

$$H_s = 4/3 D = 36,12356 \text{ m}$$

C. Diameter dan Tinggi Tutup

Diameter tutup = diameter tangki = 27,09267 m

Tinggi tutup (H_d) = $\frac{1}{4} D = 6,77316 \text{ m}$

Tinggi tangki = $H_s + H_d = (36,12356 + 6,77316)$
 $= 42,89 \text{ m}$

D. Tebal Shell Tangki

Direncanakan menggunakan bahan konstruksi Carbon steel SA-285 Grade C, diperoleh data :

- Allowable stress (S) = 13750 psia
- Joint efficiency (E) = 0,8
- Corrosion allowance = 0,25 mm/tahun
= 0,0098/ tahun
- Umur tangki = 10 tahun
- Volume cairan = $19513,49745 \text{ m}^3$
- Tinggi cairan dalam tangki
 $= \frac{19513,49745}{23416,19694} \times 42,89672$
 $= 35,74727 \text{ m}$
- Tekanan hidrostatik :
 $P_{\text{hidrostatik}} = \rho \times g \times l$
 $= 827,1867 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/det}^2 \times$
 $827,1867 \text{ m}$
 $= 289,782786 \text{ kPa}$
 $P_o = 101,325 \text{ kPa}$

$$\begin{aligned}
 P' &= 289,782786 \text{ kPa} + 101,325 \\
 &= 391,107786 \text{ kPa} \\
 P_{\text{design}} &= 1,2 \times 391,107786 \text{ kPa} \\
 &= 469,3293432 \text{ kPa} \\
 &= 68,07794361 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

- Tebal *shell* tangki :

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

Dimana,

P = tekanan desain (psig)

R = jari-jari dalam tangki (in)

S = *allowable stress* (psia)

E = *joint efficiency*

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{(68,07794361 \text{ psi})(533,3202 \text{ in})}{(13750 \text{ psia})(0,8) - 0,6(68,07794361 \text{ psi})} \\
 &= 3,31297016
 \end{aligned}$$

- Faktor korosi = 0,0098 in/tahun

Maka tebal *shell* yang dibutuhkan dengan perkiraan umur alat 10 tahun adalah

$$= 3,31297016 + (10 \times 0,0098)$$

$$= 3,41097016 \text{ in}$$

Tebal *shell* yang digunakan = $\frac{3}{4}$ in

E. Tebal Tutup Tangki

Tutup atas tangki terbuat dari bahan yang sama dengan *shell*. Tebal tutup atas yang digunakan = $\frac{3}{4}$ in.

F. Power Pengaduk

- Diameter impeler (D_a) = $0,3 \times D_{\text{tangki}}$
 $= 0,3 \times 27,09267$
 $= 8,127801$
- Panjang Blade (L) = $D_a : 4$
 $= 8,127801 : 4 = 2,03195$
- Lebar Blade (w) = $D_a : 8$
 $= 8,127801 : 8 = 1,01597$
- Putaran pengaduk = 60 rpm = 1 rps
- Jarak antara dasar dengan pengaduk
 $D_a : 3 = 2,7092$

- Viskositas bubuk pulp

$$\phi_s = \frac{\text{massa padatan dalam campuran}}{\text{massa air dalam campuran}}$$

$$= \frac{260869,6}{277174} = 0,9411$$

- Rho Campuran

$$\mu_{\text{campuran}} = \frac{(1 + 0,5\phi_s) \times \mu_l}{(1 - \phi_s)^4}$$

$$= 827,186793$$

- Nre

$$Nre = \frac{D_a^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu}$$

$$= \frac{(8,127801)^2 \times 1 \times 827,186793}{0,9411}$$

$$= 58060,23021$$

- Maka tipe blade yang di gunakan adalah flat six blade open turbine. (*Geankoplis, 2003*)
- Menggunakan fig 3.4-5, *Geankoplis 4th edition p.159*, untuk menentukan Power pengaduk :
- $N_p = 3,5$

$$P = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D_a^5$$

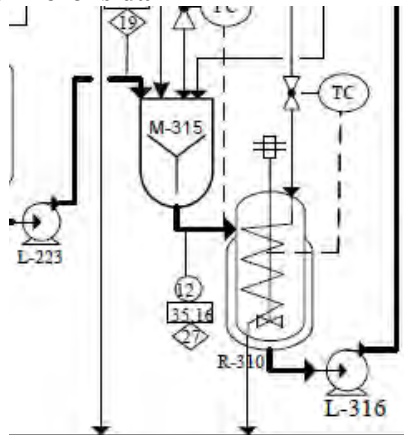
$$= 3,5 \cdot 827,186793 \cdot 1^3 \cdot 8,127801^5$$

$$= 102692078 \text{ J/s}$$

$$= 102826,1505 \text{ Kw}$$

$$= 102826,1505 \text{ hp}$$

9. Reaktor Peroksida



Fungsi : Mereaksikan pulp dengan bahan-bahan kimia

Tekanan : 12 atm

Suhu : 35,16 °C

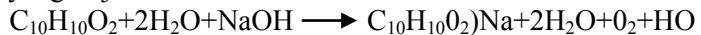
Laju alir massa : 37.613.373 kg/hari

Waktu tinggal : 1 jam

Densitas campuran :

Volume campuran :

Reaksi yang terjadi dalam reaktor



M	0,37	122,24	51,95				
R	0,15	120,13	51,13	0,15	0,30	0,15	0,15
S	0,22	1,93	0,82	0,15	0,30	0,15	0,15

$$0,37 - 0,15 X_a = 0,22(1 - X_a)$$

$$0,37 - 0,22 = 0,22 X_a + 0,15 X_a$$

$$0,15 = 0,37 X_a$$

$$X_a = 0,4054$$

Dasar perhitungan :

1. Laju reaksi didasarkan pada konsentrasi Lignin

2. Sampel perhitungan dari konsentrasi Lignin (Ca)

$$C_{A0} = 0,15$$

$$\begin{aligned} C_{A1} &= C_{A0}(1-X) \\ &= 0,13 \times (1-0,394) \\ &= 0,0909 \quad \text{kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{A2} &= C_{A1}(1-X) \\ &= 0,07878 \times (1-0,394) \\ &= 0,0550854 \quad \text{kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{A3} &= C_{A2}(1-X) \\ &= 0,04774068 \times (1-0,394) \\ &= 0,03338175 \quad \text{kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{A4} &= C_{A3}(1-X) \\ &= 0,02893085 \times (1-0,394) \\ &= 0,02022934 \quad \text{kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{A5} &= C_{A4}(1-X) \\ &= 0,0175321 \\ &\quad \times (1-0,394) \\ &= 0,012259 \quad \text{kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{A6} &= C_{A5}(1-X) \\ &= 0,01062 \times \\ &\quad (1-0,394) \\ &= 0,0074289 \quad \text{kg/m}^3 \end{aligned}$$

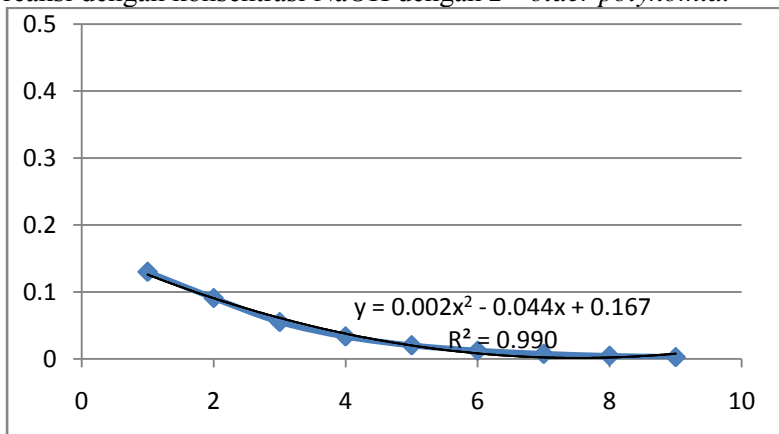
$$\begin{aligned} C_{A7} &= C_{A6}(1-X) \\ &= 0,0064 \times \\ &\quad (1-0,394) \\ &= 0,0045019 \quad \text{kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{A8} &= C_{A7}(1-X) \\
 &= 0,0039 X (1- \\
 &\quad 0,394) \\
 &= 0,0027282 \quad \text{kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Tabel C.8 Hubungan Antara Waktu dengan Konsentrasi

Waktu (menit)	X (%)	X	$C_A (\text{kg/m}^3)$
0	0	0	0,13
60	30,076923	0,30077	0,0909
120	57,626615	0,57627	0,0550854
180	74,321729	0,74322	0,0333818
240	84,438968	0,84439	0,0202293
300	90,570014	0,9057	0,012259
360	94,285429	0,94285	0,0074289
420	96,53697	0,96537	0,0045019
480	97,901404	0,97901	0,0027282

Dari tabel di atas dapat dibuat grafik antara waktu dan reaksi dengan konsentrasi NaOH dengan 2^{nd} order polynomia.



Grafik hasil antara waktu dan reaksi dengan konsentrasi NaOH
dengan 2^{nd} order polynomia

Persamaan konsentrasi Ca

$$C_A = 0,003t^2 - 0,044t + 0,162$$

$$\frac{dC_A}{dt} = 0,006t - 0,044$$

Tabel C.9 Hubungan Antara Waktu dengan Konsentrasi
dan $\ln(dC_A/dt)$

Waktu (menit)	C_A (kg/m ³)	dC_A/dt	$\ln C_A$	$\ln(dC_A/dt)$
0	0,13	0	-2,0402208	0
60	0,0909	0,316	-2,3979953	-1,1520131
120	0,0550854	0,676	-2,8988706	-0,3915622
180	0,0333818	1,036	-3,3997459	0,0353671
240	0,0202293	1,396	-3,9006212	0,333611
300	0,012259	1,756	-4,4014964	0,5630385
360	0,0074289	2,116	-4,9023717	0,7495275
420	0,0045019	2,476	-5,403247	0,9066444
480	0,0027282	2,836	-5,9041223	1,0423946

Orde reaksi dapat dicari dengan menggunakan persamaan

$$n = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

$$= \frac{0,65 - 0,35}{1,04}$$

$$= 0,85714286$$

$$\approx 1$$

Berdasarkan Perry's Chemical Engineering Handbook untuk reaksi dengan orde 1 diperoleh persamaan reaksi sebagai berikut :

$$-\ln C_A/C_{A0} = k t$$

Tabel C.10 Hubungan Antara Waktu dengan Konsentrasi dan $1/(C_A/C_{A0})$

Waktu	C_A/C_{A0}	$\ln(C_A/C_{A0})$	$1/(C_A/C_{A0})$
0	1	0	1
60	0,6992308	-0,3578	1,430143014
120	0,4237338	-0,8586	2,359971971
180	0,2567827	-1,3595	3,894343186
240	0,1556103	-1,8604	6,426308888
300	0,0942999	-2,3613	10,60447011
360	0,0571457	-2,8622	17,4991256
420	0,0346303	-3,363	28,87644488
480	0,020986	-3,8639	47,65089914

Dari grafik didapatkan persamaan $0,098t - 8,239$ (asumsi $Y = ax + b$).
Sehingga $a = \ln k$

$$a = 0,098$$

$$a = \ln k$$

$$0,098 = \ln k$$

$$k = 1,103$$

Dengan diketahui nilai k orde reaksi dapat dicari dengan volume reaktor :

$$t = N_{A0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(-r_A)V}$$

$$-r_A = k \cdot C_A^n$$

$$t = N_{A0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{k C_A^n}$$

$$C_A = C_{A0}(1 - X_A)$$

$$t = \frac{N_{A0}}{V} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{k C_A^n}$$

$$V = \frac{N_{A0}}{t} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{k C_{A0}^{5,6} (1 - X_A)^{5,6}}$$

Misal :

$$1 - X_A = u$$

Maka,

$$du = -dX_A$$

$$dX_A = -du$$

$$V = \frac{N_{A0}}{t \cdot k \cdot C_{A0}^{5,6}} \int_0^{X_A} \frac{-du}{u^{5,6}}$$

$$V = \frac{N_{A0}}{t \cdot k \cdot C_{A0}^{5,6}} \int_0^{X_A} -u^{-5,6} du$$

$$V = \left(\frac{N_{A0}}{t \cdot k \cdot C_{A0}^{5,6}} \right) \left(\frac{1}{4,6} u^{-4,6} \right)_0^{X_A}$$

$$V = \left(\frac{N_{A0}}{t \cdot k \cdot C_{A0}^{5,6}} \right) \left(\frac{1}{4,6} \right) ((1 - X_A)^{-4,6})_0^{X_A}$$

$$C_{A0} = \frac{N_{A0}}{V}$$

$$V = \left(\frac{N_{A0}}{t \cdot k \cdot \left(\frac{N_{A0}}{V} \right)^{5,6}} \right) \left(\frac{1}{4,6} \right) ((1 - X_A)^{-4,6})_0^{X_A}$$

$$\begin{aligned}
 V^{-4,6} &= \left(\frac{N_{A0}^{-4,6}}{t \cdot k} \right) \left(\frac{1}{4,6} \right) ((1-X_A)^{-4,6})_0^{X_A} \\
 V^{-4,6} &= \left(\frac{N_{A0}^{-4,6}}{t \cdot k} \right) \left(\frac{1}{4,6} \right) [(1-x_A)^{-4,6} - (1-0)^{-4,6}] \\
 &= 705,095 \text{ m}^3 \\
 &= 24889,8852 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

Menentukan diameter tangki :

Direncanakan : $H = 1,5 D$

Volume flange dan dished head = $0,000049 D^3$ (D dalam in)

Volume flange dan dished head = $0,0847 D^3$ (D dalam ft)

Volume silinder = $\frac{\pi ID^2 H}{4}$

Volume reaktor = Volume silinder + (2 x Vol.flange)

$$\begin{aligned}
 24889,8852 &= \frac{\pi ID^2 H + (2 \times 0,0847 \times D^3)}{4} \\
 &= \frac{3,14 \times ID^2 \times 1,5ID + (0,1694 \times D^3)}{4}
 \end{aligned}$$

$$24889,8852 = 1,3469 ID^3$$

$$ID^3 = 18479,384 \text{ ft}$$

$$ID = 26,438034 = 7,55372$$

maka didapatkan hasil untuk standarisasi

$$\begin{aligned}
 ID &= 26,44 \text{ ft} &= 30 \text{ ft} \\
 &= 8,03 \text{ m} &= 8,0 \text{ m} \\
 &= 316,14 \text{ in} &= 316 \text{ in} \\
 R &= 13,22 \text{ ft} &= 14 \text{ ft} \\
 &= 4,02 \text{ m} &= 4 \text{ m} \\
 &= 158,27 \text{ in} &= 191 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H &= 39,66 \text{ ft} = 40 \text{ ft} \\
 &= 12,05 \text{ m} = 12 \text{ m} \\
 &= 474,67 \text{ in} = 480 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Pengecekan diameter dan tingi rakor untuk pengelasan double welded butt joint dengan syarat :

$$\begin{aligned}
 D \times H &\geq 1720 \\
 30 \times 40 &\geq 1720 \\
 1200 &\geq 1720
 \end{aligned}$$

Karena harga $D \times H$ lebih kecil dari 1720, maka tangki dikategorikan tangki bervolume kecil sehingga perhitungan tebal silinder tidak dihitung.

Berdasarkan course (*Brownel, 1959*)

$$\begin{aligned}
 \text{Volume reaktor} &= \frac{\pi D^2 H + (2 \times 0,0847 \times D^3)}{4} \\
 &= \frac{3,14 \times 30^2 \times 40 + (2 \times 0,0847 \times 30^3)}{4} \\
 &= 28260 + 4573,8 \text{ ft} \\
 &= 32833,8 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

Menentukan ketinggian liquid

Volume fluida yang menempati bejana sebanyak 80% dari volume tangki, maka :

$$\begin{aligned}
 \text{Volume fluida} &= 80\% \times \text{volume reaktor} \\
 &= 80\% \times 32833,8 \\
 &= 26267,04 \text{ ft}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

Volume liquid = volume silinder + volume dished bawah

$$26267,04 = \frac{\pi D^2 H_L + (0,0847 \times D^3)}{4}$$

$$= \frac{3,14 \times 30^2 \times H_L + (0,0847 \times 30^3)}{4}$$

$$26267,04 = 2826 H_L + 2286,9$$

$$H_L = 36,37 \text{ ft}$$

$$H_L = 11,05 \text{ m}$$

Menentukan tebal silinder

Untuk menghitung tebal silinder dibutuhkan data-data sebagai berikut :

Bahan yang digunakan adalah Carbon Steel SA-212 Grade A

Stress maksimum yang diijinkan (f) = 16250 psi

(*Brownel, tabel 13.2, p. 251*)

Pengelasan double welded butt joint

Efisiensi sambungan (E) = 0,8 (*Brownel, tabel 13.2, p. 254*)

Faktor korosi (C) = 0,125 in (*Perry, 1997*)

ri (radius inside) = $ID/2 = 316/2 = 158$ in

$$\begin{aligned} ts &= \frac{P R}{f E - 0,6P} + C \\ &= \frac{89,838 \times 158}{16250 \times 0,8 - 0,6 \times 89,838} + 0,125 \\ &= 1,0964234 + 0,125 \\ &= 1,22 \text{ in} \end{aligned}$$

OD (outside diameter) = $ID + 2.ts$

$$= 316 + 2 \times 1,22$$

$$= 318,44 \text{ in}$$

10. Head Box

Fungsi : Untuk mendistribusikan fiber (serat bubur pulp) secara merata ke atas wire

Tekanan : 1 atm
 Temperatur : 31,21 °C
 Laju alir massa : 925.119 kg/hari
 Type : Three-Pass Baffle Headbox

Spesifikasi head box, (*Britt, 1970*) :

- Kecepatan alir roll : 1,5 ft/s
 - Diameter roll : 16 in
 - Jumlah roll : 3 roll
 - Ketebalan roll : 0,25 in
 - Kecepatan putar roll : 30 rpm
 - Ketinggian headbox : 10 m
 - Jet Geometry : 45,95 ft/s
 - Jumlah : 1 unit

Perhitungan :

Jet geometry (v) : $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$

$$v = \sqrt{2gh}$$

(Britt, 1996)

Dimana :

v = *Jet geometry* (ft/s)

g = *gravity* (ft/s²)

h = *height of fluida dari open slice* (ft)

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$v = \sqrt{2 \times 32,174 \times 32,81}$$

$$v = 45,95 \text{ ft/s}$$

11. Rotary Drum Dryer

Fungsi : Untuk mengeringkan pulp yang keluar dari wire part

Tekanan : 1 atm
 Temperatur : 100 °C
 Laju alir massa : 177.907 kg/hari
 Jenis : Countercurrent Rotary Dryer

Kondisi Operasi :

- Temperatur steam masuk = 225 °C
- Temperatur bahan masuk = 78,25 °C
- Temperatur bahan keluar = 100 °C
- Laju alir produk = 7412,80 kg/jam
= 16342,25 lb/jam
- Jumlah steam yang dibutuhkan = 1042,83 kg/jam
= 2299,02 lb/jam
- Q supply = 530799,6 kJ/jam
= 503099,0 btu/jam
- Densitas campuran (ρ campuran) = 980,49 kg/m³
= 61,21 lb/ft³
- Densitas steam = 0,44 kg/m³
= 0,03 lb/ft³
- Volume campuran umpan = 12220,08 ft³

Perhitungan Volume Rotary Dryer :

- Faktor kelonggaran = 8%
- Volume rotar dryer = 12220,08 x 1,08
= 13197,69 ft³

Perhitungan Luas Permukaan Rotary Dryer :

- Temperatur Steam = 225 °C
= 437 °F
- Temperatur bahan masuk = 78,25 °C
= 172,85 °F
- Temperatur bahan keluar = 100 °C
= 212 °F
- Ud (Kern, table 9) = 300 btu/jam °F ft²
- LMTD = $\frac{(437-212)-(437-178,85)}{\ln \frac{(437-212)}{(437-178,85)}}$
= 244,05 °F

$$\begin{aligned}
 \text{-Luas permukaan dryer, } A &= \frac{Q}{U_d \times \text{LMTD}} \\
 &= \frac{503099,0}{300 \times 244,05} \\
 &= 11,82 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

Desain Rotary Dryer :

$$Q = \frac{10,98 K_f v^{2/3} \Delta t}{D_m^2} D_s \sqrt{\frac{\rho_t}{\rho_s}}$$

(Perry, 1999)

Q	=	Laju perpindahan panas (Btu/jam)
Kf	=	Kondukticitas panas (Btu/(hxft ²)(°Fxft)
V	=	Volume dryer (ft ³)
Δt	=	Selisih suhu (°F)
Dm	=	Diameter medium (ft)
Ds	=	Diameter nozzel (ft)
Ws	=	Laju alir umpan masuk (lb/h)
ps	=	Densitas bahan (lbm/ft ³)
pt	=	Densitas steam (lbm/ft ³)

- Volume Dryer

$$\begin{aligned}
 V_m &= \frac{1}{4} \times \pi D^2 L & D : L = 1 : 5 \\
 &= \frac{5}{4} \times \pi D^3 & (\text{Perry, 1999}) \\
 13197,69 &= \frac{5}{4} \times \pi D_m^3 \\
 D_m &= 14,98 \text{ ft} \\
 L &= 5 \times 14,98 \\
 &= 74,91 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Dari persamaan di atas diperoleh harga D_s :

$$D_s = \frac{QD_m^2}{10.98Kfv^{2/3}\Delta t \sqrt{\frac{\rho_t}{\rho_s}}}$$

$$\begin{aligned} D_s &= 0,029 \text{ ft} \\ &= 0,883 \text{ cm} \end{aligned}$$

Menentukan Jumlah Putaran :

$$N = \frac{v}{\pi \times D}$$

Dimana :

v = Kecepatan putaran linier = 30-150 ft/menit

D = Diameter dryer (ft)

Diambil kecepatan putaran linier, $v = 100$ ft/menit

$$\begin{aligned} N &= \frac{100}{\pi \times 14.98} \\ &= 2,13 \text{ rpm} \end{aligned}$$

$$\text{Range : } N \times D = 25-35 \text{ rpm}$$

$$N \times D = 31,85 \text{ rpm (memenuhi)}$$

Perhitungan Waktu Tinggal (*Retention Time*), θ :

$$\theta = \frac{0.23 \times L}{S \times N^{0.9} \times D}$$

(Perry,1999)

Dimana :

L = Panjang rotary dryer (ft)

N = Rotasi (rpm)

S = Slope (ft/ft)

D = Diameter rotary dryer (ft)

$$\begin{aligned}\theta &= 0,58 \text{ jam} \\ &= 35 \text{ menit}\end{aligned}$$

Spesifikasi :

Fungsi	:	Untuk mengeringkan pulp yang keluar dari wire part
Jenis	:	<i>Countercurrent Rotary Dryer</i>
Volume rotary dryer	:	13197,69 ft ³
Luas permukaan dryer	:	11,82 ft ²
Diameter dryer	:	14,98 ft
Panjang dryer	:	74,91 ft
Diameter nozzel	:	0,03 ft
Jumlah putaran	:	2,13 rpm
Waktu tinggal	:	35 menit
Jumlah	:	1 unit

12. Washer 1

Fungsi	:	Mencuci bubur pulp dari <i>black liquor</i> dengan menggunakan air
Jenis	:	Rotary Vacuum Filter
Jumlah	:	1 unit

Kandungan air : 15,1 %

Data dari *Hugot, edisi 3, halaman 480 - 481*:

» Ketebalan cake	=	7 - 13 mm
» Temperatur filtrasi	=	90,5
» Rate filtrasi	=	250 – 400 filtrat/m ² / jam
» Area filtrasi	=	0,6 m ² /ton pulp jam

Dari data diatas didapatkan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Ketebalan cake (diambil rata-rata)} &= 13 \text{ mm} \\ \text{Area filtrasi, A} &= 0,6 \times 74,620036 \\ &= 44,772022 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Menghitung tahanan filter, R_m :

$$\begin{aligned}
 \text{Ketebalan pulp, } L &= 13 \text{ mm} = 0,013 \\
 \text{Permeabilitas filter, } K_p &= 2E+12 \\
 &\quad (\text{Wallas, Tabel 11.6, hal.315}) \\
 (\text{Filter aids, medium}) &\quad (\text{Wallas, eq.11.22, hal.313}) \\
 \text{Tahanan filter, } R_m &= \frac{L}{K_p} \\
 &= \frac{0,013}{2E+12} \\
 &= 6,5E-15 \quad m^{-1}
 \end{aligned}$$

Menghitung waktu filtrasi, t :

$$\begin{aligned}
 \text{Spesifik tahanan pulp, } \alpha &= 5,1E+12 \\
 \text{Perbedaan tekanan, } -\Delta p &= 5 \text{ bar} = 4,93 \text{ atm} \\
 \text{Karena } L &= 1,30 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{-\Delta p}{0.67 \text{ } t_c} &= 100 \quad L^2 \\
 t_c &= \frac{-\Delta p}{100 \text{ } L^2 \times 0,67} \\
 &= \frac{4,93}{1,69 \times 0,67} \\
 &= 4,36 \text{ menit} = 261,48 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Menghitung bagian filter yang terbenamkan :

$$\frac{V}{A \times t_c} = \frac{\frac{-R_m}{t_c} + \left(\frac{R_m^2}{t_c^2} + 2 \times c_s \times \alpha \times \frac{-\Delta p}{\mu} \times t_c \right)^{0,5}}{\alpha \times c_s}$$

Dimana :

V	=	Volume blackliquor	
»	ρ black liquor	=	1006,1 kg/m ³
»	Massa black liquor	=	67479,9 kg
»	Volume black liquor	=	67,1 m ³
Cs	=	kg solid/m ³ pulp	= 7140,1 kg solid/m ³
A	=	Luas area filtrasi	= 44,8 m ²
Rm	=	Tahanan filter medium	= 0,0 m ⁻¹
μ	=	Viskositas slurry	= 0,57 kg/ms
α	=	Spesifik tahanan cake	= 5100000000000 m/Kg
$-\Delta p$	=	Perbedaan tekanan	= 500000,0 Pa
f	=	Fraksi drum yang terbenamkan	= 0,3
tc	=	Total cycle time	= 261,5 detik

maka,

$$\frac{V}{A \times t_c} = \frac{-2,5E-17 + [6,1793E-34 + 8,04649E+19]^{0,5}}{5,1E+12 \times 7140,09}$$

$$= 2E-07 \quad \text{m}^3 \text{ filtrat/m}^2 / \text{detik}$$

$$= 0,887 \quad \text{l filtrat/m}^2 / \text{jam}$$

Spesifikasi Washer 1:

Kapasitas	=	74620,00	kg/jam
T operasi	=	77,61	°C
Ketebalan cake	=	13,00	mm
Tahanan filter (Rm)	=	0,00000	m ⁻¹
Rate filtrasi	=	0,89	l filtrat/m ² / jam
Area filtrasi (A)	=	44,77	m ²

Waktu filtrasi (t) = 261,48 detik

Jumlah = 1,00 unit

13. Washer 2

Fungsi : Mencuci bubur pulp dari proses pemutihan sebelumnya

Jenis : Rotary Vacuum Filter

Jumlah : 1 unit

Fungsi : Mencuci bubur pulp dari *black liquor* dengan menggunakan air

Jenis : Rotary Vacuum Filter

Jumlah : 1 unit

Kandungan air : 84,5 %

Data dari *Hugot, edisi 3, halaman 480 - 481*:

» Ketebalan cake = 7 - 13 mm

» Temperatur filtrasi = 90,5

» Rate filtrasi = 250 – 400 filtrat/m²/ jam

» Area filtrasi = 0,6 m²/ton pulp jam

Dari data diatas didapatkan perhitungan sebagai berikut :

Ketebalan cake (diambil rata-rata) = 13 mm

Area filtrasi, A = 0,6 x 74,620036

= 44,772022 m²

Menghitung tahanan filter, R_m :

Ketebalan pulp, L = 13 mm = 0,013

Permeabilitas filter, K_p = 2E+12

(Wallas, Tabel 11.6, hal.315)

(Filter aids, medium)

(Wallas, eq.11.22, hal.313)

Tahanan filter, R_m =
$$\frac{L}{K_p}$$

=
$$\frac{0,013}{2E+12}$$

$$= 6,5E-15 \quad m^{-1}$$

Menghitung waktu filtrasi, t :

Spesifik tahanan pulp, α

$$= 5,1E+12$$

Perbedaan tekanan, $-\Delta p$

$$= 5 \text{ bar} = 4,93 \text{ atm}$$

Karena L

$$= 1,30 \text{ cm}$$

$$\frac{-\Delta p}{0.67 \text{ tc}} = 100 \quad L^2$$

$$\begin{aligned} t_c &= \frac{-\Delta p}{100 L^2 \times 0,67} \\ &= \frac{4,93}{1,69 \times 0,67} \\ &= 4,36 \text{ menit} = 261,48 \text{ detik} \end{aligned}$$

Menghitung bagian filter yang terbenamkan :

$$\frac{V}{A \times t_c} = \frac{\frac{-R_m}{t_c} + \left(\frac{R_m^2}{t_c^2} + 2 \times c_s \times \alpha \times \frac{-\Delta p}{\mu \times t_c} \right)^{0,5}}{\alpha \times c_s}$$

Dimana :

V = Volume blackliquor

$$\gg \rho \text{ black liquor} = 999,1 \quad kg/m^3$$

$$\gg \text{Massa black liquor} = 1545297,9 \quad kg$$

$$\gg \text{Volume black liquor} = 1546,7 \quad m^3$$

$$C_s = kg \text{ solid}/m^3 \text{ pulp} = 37307,6 \quad kg \text{ solid}/m^3$$

$$A = \text{Luas area filtrasi} = 949,6 \quad m^2$$

$$R_m = \text{Tahanan filter medium} = 0,0 \quad m^{-1}$$

$$\mu = \text{Viskositas slurry} = 0,57 \quad kg/ms$$

$$\alpha = \text{Spesifik tahanan cake} = 5100000000000 \text{ m/Kg}$$

$-\Delta p$	= Perbedaan tekanan	= 500000,0 Pa
f	= Fraksi drum yang terbenamkan	= 0,3
t_c	= Total cycle time	= 261,5 detik

maka,

$$\frac{V}{A \times t_c} = \frac{-2,5E-17 + [6,1793E-34 + 4,20436E + 20]^{0,5}}{5,1E+12 \times 37307,58}$$

$$= 1E-07 \quad m^3 \text{ filtrat}/m^2/\text{detik}$$

$$= 0,388 \quad l \text{ filtrat}/m^2/\text{jam}$$

Spesifikasi Washer 2 :

Kapasitas	= 1585393, kg/jam
T operasi	= 70 °C
Ketebalan cake	= 13,00 mm
Tahanan filter (Rm)	= 0,00000 m ⁻¹
Rate filtrasi	= 0,39 l filtrat/m ² / jam
Area filtrasi (A)	= 949,56 m ²
Waktu filtrasi (t)	= 261,48 detik
Jumlah	= 1,00 unit

14. Heat exchanger (E-224)

Fungsi : Untuk menaikkan suhu air proses dari 30 °C menjadi 70 °C sebelum menuju ke washer 1

Type : Shell and Tube

Diketahui :

Fluida Panas		Fluida Dingin	
Nama	Steam	Nama	Air Proses
Aliran Massa (lb/jam)	47952,02	Aliran Massa (lb/jam)	47952,02
Temp Masuk	437°F	Temp Masuk	338°F

(T1)		(t1)	
T. Keluar (T2)	437°F	T. Keluar (t2)	248°F

ΔP yang diijinkan : 10 psi
 Dirt factor (R_d) fluida panas : 0,002 (Kern,table 12)
 Dirt factor (R_d) fluida dingin : 0,00 (Kern,table 12)
 Total dirt factor (R_d) : 0,002

1. Heat Balance

Air Proses

$$\begin{aligned}
 Q &= m \cdot c_p \cdot \Delta t \\
 &= 47952,019 \times 1 \times (158-86) \\
 &= 3449092,83 \text{ BTU/hr}
 \end{aligned}$$

Steam

$$\begin{aligned}
 Q &= m \times \lambda \\
 &= 47952,019 \times 486 \\
 &= 23293172,8 \text{ BTU/hr}
 \end{aligned}$$

2. Δt

Hot Fluid		Cold Fluid	Diff.	
437°F	Higher Temp	338°F	99°F	Δt_1
437°F	Lower Temp	248°F	189°F	Δt_2
0°F	Differences	90°F	90°F	

Ketika $R=0$, maka $\Delta t = \text{LMTD}$

$$\text{LMTD} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln(\Delta t_2 / \Delta t_1)}$$

$$= 139,18376$$

3. Caloric Temperature

$$T_c = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{437 + 437}{2}$$

$$t_c = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{338 + 248}{2} = \frac{437}{2} = 218.5 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Fluida Panas : Tube Side, Steam

4. Flow Area

$$\begin{aligned} a't &= 0,302 \text{ in}^2 && (\text{Kern,table 10}) \\ a_t &= N_t \times a_t / 144n \\ &= 824 \times 0.302 / 144 \times 2 \\ &= 0,8640556 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

5. Gt (untuk pressure drop)=W/at

$$\begin{aligned} Gt &= W/a_t \\ &= 47952,019 / 0,864056 \\ &= 55496,45 \text{ lb/(hr)(ft}^2\text{)} \end{aligned}$$

6. At Tc = 347 °F

$$\begin{aligned} \mu_{\text{steam}} &= 0,015 \text{ cp} && (\text{Kern,figure 15}) \\ \mu_{\text{steam}} &= 0,006 \text{ lb/(ft)(hr)} \\ D &= 0,62 / 12 && (\text{Kern,table 10}) \\ D &= 0,052 \text{ ft} \\ \text{Ret} &= DGt/\mu \\ &= 0,052 \times 55496,5 / 0,006 \\ &= 462593,7726 \\ \text{Ret untuk pressure drop} \end{aligned}$$

9. Kondensasi Steam

$$h_{io} = 1500 \text{ BTU/(hr)(ft}^2\text{)}(^{\circ}\text{F)}$$

10. tw*

$$t_w = t_c + \frac{h_{io}}{h_{io} + h_o} (T_c - t_c)$$

$$= 293 + \frac{1500}{1500 + 863,94} (347-122)$$

$$= 384,37 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Fluida Dingin : Shell Side, Air Proses

4'. Flow Area

$$a_s = (\text{area of shell}) - (\text{area of tubes})$$

$$= \frac{1}{144} \times (\pi \times ID^2/4) - (N_t \times \pi \times OD^2/4)$$

$$= \frac{1}{144} \times (\pi \times 35^2/4) - (824 \times \pi \times 0.75^2/4)$$

$$= 4,151 \text{ ft}^2$$

5'. Gs

$$G_s = W/a_s$$

$$= \frac{47952,019}{11551,27242} \text{ / } 4,2$$

$$= 11551,27242 \text{ lb/(hr)(ft}^2\text{)}$$

6'. At $t_c=122 \text{ } ^\circ\text{F}$, $\mu = 2\mu_{\text{water}}$

$$\mu_{\text{air}} = 0,6 \text{ (Kern, figure 14)}$$

$$\mu_{\text{air}} = 2,904 \text{ (lb/(ft)(hr))}$$

$$De = 4a_s / (\text{wetted perimeter})$$

$$De = 4a_s / (N_t \times \pi \times OD/12)$$

$$= 0,103 \text{ ft}$$

$$Re_s = De G_s / \mu$$

$$= 408,44483 \text{ (Kern, figure 24)}$$

7'. jH = 120

8'. $t_c=122 \text{ } ^\circ\text{F}$

$$k = 0,373 \text{ BTU/(hr)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F/ft)}$$

$$\text{(Kern, table 4)}$$

$$c = 1 \text{ BTU/(lb)(}^\circ\text{F)}$$

(Kern, figure 2)

$$(c\mu/k)^{1/3} = 1,98196$$

9'. ho

$$h_o = jH \frac{k}{D_e} \left(\frac{c\mu}{k}\right)^{1/3} \varphi_s$$

$$\frac{h_o}{\varphi_s} = 863,94$$

11'. At $t_w = 264.77^\circ\text{F}$, $\mu_w = 2\mu_{\text{water}}$

$$\begin{aligned} \mu_w &= 2 \times 0.15 \times 2.42 \\ &= 0,726 \text{ lb/(ft)(hr)} \\ \varphi_s &= (\mu/\mu_w)^{0.14} \\ &= 1,214 \end{aligned}$$

12'. Corrected Coefficient, ho

$$h_o = (h_o / \varphi_s) \times \varphi_s$$

$$= 1048,9969 \text{ BTU/(hr)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F/ft)}$$

13. Koefisien Keseluruhan, U_c :

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o}$$

$$U_c = 617,2998 \text{ BTU/(hr)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F/ft)}$$

14. Desain Keseluruhan, U_D :

$$a'' = 0,1963 \text{ ft}^2/\text{lin ft}$$

$$A = N_t \times \text{BWG} \times a''$$

$$= 824 \times 16'0'' \times 0.1963$$

$$= 2588,02 \text{ ft}^2$$

$$U_D = Q / (A \cdot \Delta t)$$

$$= 9,58 \text{ BTU/(hr)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F)}$$

15. R_d

$$R_d = \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D}$$

$$= \frac{0,102816269 \text{ (hr)(ft}^2\text{)(}^\circ\text{F)/BTU}}{0,002}$$

Pressure Drop**1. Specific volume**

$$\begin{aligned} v &= 3,455 \text{ lb/ft} && \text{(Kern,table 7)} \\ s &= (1/3.445)/62.5 \\ &= 0,005 \\ \text{Ret} &= 462593,7726 \\ f &= 0,00011 && \text{(Kern,figure 26)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \Delta P_t &= \frac{1}{2} \times \frac{f G_t^2 \text{Ln}}{5.22 \times 10^{10} D_s \phi_t} \\ &= \frac{1}{2} \times \frac{0.0001 \times 512 \times 9623.52^2 \times 16 \times 2}{5.22 \times 10^{10} \times 0.052 \times 0.05 \times 1} \\ &= \frac{0,4340005 \text{ psi}}{10} \end{aligned}$$

1'. S

$$s = 1 \text{ BTU/lb}^\circ\text{F} \quad \text{(Kern,table 6)}$$

2'. De'

$$\begin{aligned} \text{De}' &= 4 \times \text{flow area/frictional wetted perimeter} \\ &= 4 \times s / (N \times 3.14 \times \text{OD}/12 + 3.14 \times \text{ID}/12) \\ &= 0,097 \text{ ft} \\ \text{Re's} &= \text{De'.Gs}/\mu \\ &= 386,55269 \end{aligned}$$

$$f = 0,00019$$

$$\Delta P_s = \frac{1}{2} \times \frac{f G_s^2 L_n}{5.22 \times 10^{10} D_e' s \phi_s}$$

$$= \frac{1}{2} \times \frac{0.00016 \times 1134276.27^2 \times 16 \times 2}{5.22 \times 10^{10} \times 0.097 \times 1 \times 1.092}$$

$$= 7E-05 \text{ psi}$$

15. Pandia Digester

Fungsi : Mengubah serat tandan kosong kelapa sawit
Menjadi pulp dan terjadi proses delignifikasi

Type : Continuous Pandia Digester

$$\begin{aligned} \text{Laju alir masuk reaktor} &= 22157,63 \quad \text{kg/jam} \\ &= 48848,71 \quad \text{lb/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho \text{ campuran} &= \Sigma (\text{Fraksi} \times \text{s.g}) \times \rho_{\text{air}} \text{ pada } 170^\circ\text{C} \\ &= 1,146 \quad \times \quad 895,36 \\ &= 1026,17 \text{ kg/m}^3 = 64,06 \end{aligned}$$

$$\text{Viskositas} = 0,57816 \text{ cp} = 0,000578157$$

$$\begin{aligned} \text{Volumetric rate pulp, V} &= \frac{m}{P} \\ &= \frac{48848,71}{64,06} \\ &= 762,06 \quad \text{cuft/jam} \end{aligned}$$

Kondisi Operasi :

Temperatur	=	170	°C
Tekanan operasi	=	8	Bar
Laju alir massa	=	48848,71	lb/jam

Perhitungan Dimensi Reaktor :

$$\tau = \frac{V \cdot C_{Ao}}{F_{Ao}} \rightarrow V = \frac{\tau \cdot F_{Ao}}{C_{Ao}}$$

$$C_{Ao} = \frac{\text{mol masuk}}{\text{volume feed}}$$

Dimana :

τ	=	Waktu (jam)
V	=	Volume Larutan (cuft)
C_{Ao}	=	Konsentrasi feed masuk (lbmol/cuft)
F_{Ao}	=	Laju alir molar (lbmol/jam)

$$\begin{aligned} C_{Ao} &= \frac{13999,493}{762,500} \\ &= 18,360 \quad \text{lbmol/cuft} \\ V &= \frac{1 \times 13999,39}{18,360} \\ &= 762,5 \quad \text{Cuft} \end{aligned}$$

$$\text{Volume Reaktor (V}_R\text{)} = 762,50 \text{ cuft}$$

Untuk perancangan, diberikan faktor kelonggaran 20 % :

$$\begin{aligned} \text{Volume Reaktor (V}_R\text{)} &= 1,20 \times 762,50 \\ &= 915 \text{ cuft} \end{aligned}$$

Direncanakan :**A. Menghitung Jumlah Tube**

Direncanakan :

Menurut Christy, 1967 :

$$\begin{aligned}
 - \text{ Diameter Tube} &= 18 \text{ In} = 1,5 \text{ ft} \\
 - \text{ Panjang Tube} &= 15 \text{ ft} = 180 \text{ in} \\
 \text{Volume Tube} &= \frac{1}{4} \pi (D^2) H \\
 &= 26,49 \text{ cuft} \\
 \text{Jumlah Tube} &= \frac{\text{Volume Reaktor}}{\text{Volume Tube}} \\
 &= 1331,87
 \end{aligned}$$

Menentukan tebal minimum shell tube :

Tebal shell berdasarkan ASME Code untuk cylindrical tank :

$$t_{\min} = \frac{P \times r_i}{fE - 0.6P} + C \quad (\text{Brownell, hal.254})$$

dimana :

$$\begin{aligned}
 t_{\min} &= \text{tebal shell minimum; in} \\
 P &= \text{tekanan tangki; psi} \\
 r_i &= \text{jari-jari tangki; in (1/2D)} \\
 C &= \text{faktor korosi; in (digunakan 1/8 in)} \\
 E &= \text{faktor pegelasan, digunakan double welded; } E = 0.8 \\
 f &= \text{stress allowable, bahan konstruksi Carbon steel SA-283 grade C, maka } f = 12650 \text{ psi (Brownell, T.13-1)}
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{operasi}} = 8 \text{ bar} = 116,00 \text{ psi}$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = \frac{\rho \times H}{144} = 6,67 \text{ psi}$$

P design diambil 10% lebih besar dari P total untuk faktor keamanan.

$$\begin{aligned}
 P_{\text{total}} &= P_{\text{operasi}} + P_{\text{Hidrostatik}} \\
 &= 122,67 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{design}} &= 1,1 \times \\
 &= 134,94 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 r &= 1/2D \\
 r &= 1/2 \times 18 = 9 \text{ in} \\
 t \text{ min} &= \frac{116.56 \times 9}{(12650 \times 0.8) - (0.6 \times 116.56)} + 0.125 \\
 &= 0.25 \text{ in (dipakai tebal standar } 1/4 \text{ in)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{OD} &= \text{ID} + 2t = 19 \text{ in} \\
 \text{Distantarkan menurut ASME, OD} &= 20 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi :

Fungsi : Mengubah serat tandan kosong kelapa sawit menjadi bubur pulp dan terjadi proses delignifikasi

Type : Continuous Pandia Digester

Kapasitas : 762,50 cuft

Bahan Konstruksi : 316 Stainless Steel

Diameter Tube :

- Inside Diameter : 18 in

- Outside Diameter : 20 in

Panjang Tube : 180 in

Jumlah Tube : 1332

Screw in Tube :

- Bahan Konstruksi : 316 Stainless Steel

- Power : 2 hp

- Kecepatan : 8 rpm

Rotary Discharge Valve :

- Bahan Konstruksi : 316 Stainless Steel

- Diameter : 18 in

Jumlah : 1 unit

16. Pompa

Fungsi : Memompa bahan pulp menuju ke alat selanjutnya

Type : *Centrifugal pump*

Tujuan : Menghitung Power Pompa

$$\begin{aligned}
 \text{Rate masuk} &= 854317,66 \text{ kg/jam} \\
 &= 1883428,70 \text{ lb/jam} \\
 \rho \text{ campuran} &= \Sigma (\text{Fraksi} \times \text{s.g}) \times \rho_{\text{air}} \text{ pada } 170^{\circ}\text{C} \\
 &= 1,28 \times 895 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 1149,83 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 71,78 \text{ lb/ft}^3 \\
 \mu &= 0,000306 \text{ kg/m.s} \\
 &= 0,0002059 \text{ lb/ft s} \\
 &= 0,31 \text{ cp}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rate fluida, } Q &= 26238,31 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 7,29 \text{ ft}^3/\text{s} \\
 &= 3271,48 \text{ gpm} \\
 &= 0,21 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

Dianggap aliran turbulen ($N_{re} > 2100$)

$$\begin{aligned}
 D_{i_{opt}} &= 3,9 \times q^{0.45} \times \rho^{0.13} \\
 &= 16,62 \text{ in}
 \end{aligned}$$

(Timmerhaus, pers 15, hlm 496)

Ditetapkan tipe pompa

:

$$\begin{aligned}
 \text{sch} &= 40 \\
 \text{OD} &= 18 \text{ in} = 1,50 \text{ ft} \\
 \text{ID} &= 16,875 \text{ in} = 1,41 \text{ ft} \\
 A &= 1,55 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

(perry, tabel 10-18)

kecepatan linear

aliran, v

$$\begin{aligned}
 &= \text{Rate volumetrik} / A \\
 &= 7,29 / 1,55 \\
 &= 4,70 \text{ ft/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Nre &= \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \\
 &= \frac{71,78 \times 4,70 \times 1,41}{0,00021} \\
 &= 2301668,21 \\
 &\quad (\text{asumsi aliran turbulen dapat diterima}) \\
 &\quad (\text{Geankoplis, per 3.4-1, hlm 158})
 \end{aligned}$$

Menentukan Kerja Pompa

:

Persamaan Bernouli :

$$\Delta v^2/(2gc) + \Delta z (g/gc) + \Delta(P/\rho) + \sum hf = -Ws$$

(Geankoplis, pers 2.7-28, hlm 103)

dimana :

$$\begin{aligned}
 * \quad &\text{faktor energi kinetic } \Delta v^2/(2gc) &&= 0 \\
 V_1 &= V_2 = \Delta v \\
 &\text{beda} \\
 * \quad &\text{tinggi, } \Delta z &&= 15 \text{ ft} \\
 * \quad &\text{Titik referens, } P_1 &&= \text{Tekanan blowtank} \\
 & &&= 14,70 \text{ psi} \\
 &P_2 &&= \text{Tekanan washer 1} \\
 & &&= 14,70 \text{ psi} \\
 &\Delta(P/\rho) &&= 0
 \end{aligned}$$

Perhitungan $\sum hf$ (total liquid friksi) :

Digunakan : 4 buah elbow 90°
1 buah globe valve
1 buah gate valve

* friksi dalam 4 buah elbow 90° :

$$\begin{aligned}
 hf_1 &= 4 \times k_f \times v^2 / 2\alpha g c \quad (k_f = 0,75) \\
 &\quad (Table 2.10-1 Geankoplis) \\
 &= \frac{4 \times 0,75 \times 22,04}{2 \times 1 \times 32,17} \\
 &= 1,03 \quad \text{ft.lbf/lb} \\
 &\quad (Tabel 2.10-1 Geankoplis, hlm 99)
 \end{aligned}$$

* friksi dalam 1 buah globe valve (wide Open) :

$$\begin{aligned}
 hf_2 &= k_f \times v^2 / 2\alpha g c \quad (k_f = 6) \\
 &= \frac{6 \times 22,04}{2 \times 1 \times 32,17} \\
 &= 2,06 \quad \text{ft.lbf/lb} \\
 &\quad (Tabel 2.10-1 Geankoplis, hlm 99)
 \end{aligned}$$

* friksi dalam 1 buah gate valve (wide Open) :

$$\begin{aligned}
 hf_3 &= \frac{k_f \times v^2}{2\alpha g c} = \frac{0,17 \times 22,04}{2 \times 1 \times 32,17} \\
 &= 0,06 \quad \text{ft.lbf/lb} \\
 &\quad (\text{Geankoplis pers 2.10-17, hlm 99})
 \end{aligned}$$

* friksi sepanjang pipa :

$$\begin{aligned}
 \text{Asumsi panjang pipa total, } \Delta L &= 180 \quad \text{ft} \\
 &= 54,86 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

Untuk Commercial Steel:

$$\varepsilon = 0,000046$$

Maka:

$$\varepsilon/D = 0,0001073$$

Dari fig. 2. 10-3 Geankoplis didapatkan :

$$f = 0,0037$$

$$\begin{aligned} f_f &= 4f \times \Delta L/D \times v^2/2gc \\ &= \frac{4 \times 0,0037 \times 180 \times 22,04}{1,41 \times 2 \times 32,17} \\ &= 0,65 \text{ ft.lbf/lb} \\ &\text{(Geankoplis, pers. 2.10-5, hlm 93)} \end{aligned}$$

* kehilangan karena kontraksi :

$$K_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right)$$

(Geankoplis, pers. 2.10-16, hlm 98)

$$\text{Karena } A_1 \gg A_2, \text{ maka : } \frac{A_2}{A_1} = 0$$

$$K_c = 0,55$$

$$\begin{aligned} h_c &= k_c \times v^2 / 2gc \\ &= \frac{0,55 \times 22,04^2}{2 \times 32,17} \\ &= 0,1884104 \text{ ft.lbf/lb} \end{aligned}$$

* kehilangan karena ekspansi :

$$K_{ex} = 1 \times \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)$$

$$\text{Karena } A_1 \ll A_2, \text{ maka : } \frac{A_1}{A_2} = 0$$

$$K_{ex} = 1$$

$$\begin{aligned} h_e &= K_{ex} \times v^2 / 2agc \\ &= \frac{1 \times 22,04^2}{2 \times 1 \times 32,174} \\ &= 0,34 \text{ ft.lbf/lb} \\ &\quad (\text{Geankoplis, pers. 2.10-15, hlm 98}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum hf &= hf_1 + hf_2 + hf_3 + f_f + hc + h_e \\ &= 4,32 \text{ ft.lbf/lb} \end{aligned}$$

Persamaan Bernoulli menjadi

:

$$\begin{aligned} - W_s &= \Delta v^2 / (2gc) + \Delta z (g/gc) + \Delta(P/\rho) + \sum hf \\ &= 0 + 15 + 0 + 4,3 \\ &= 19,3 \text{ ft.lbf/lb} \end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas} = 3271 \text{ gpm}$$

$$\begin{aligned} \eta &= 1 - 0,12Q^{-0,27} \quad (\text{Ulrich, pers 4-95a, hlm 205}) \\ &= 93\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_p &= (-W_s / \eta) \\ &= 20,779758 \text{ ft.lbf/lb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= \frac{W_p \times m}{550} \\ &= \frac{20,78 \times 523,17}{550} \\ &= 19,77 \text{ (lb}_f\text{). (ft)/s} \\ &= 19,77 \text{ hp} \end{aligned}$$

dari (fig. 14-38 Peters & Timmerhaus)

$$\text{Efisiensi motor} = 88\%$$

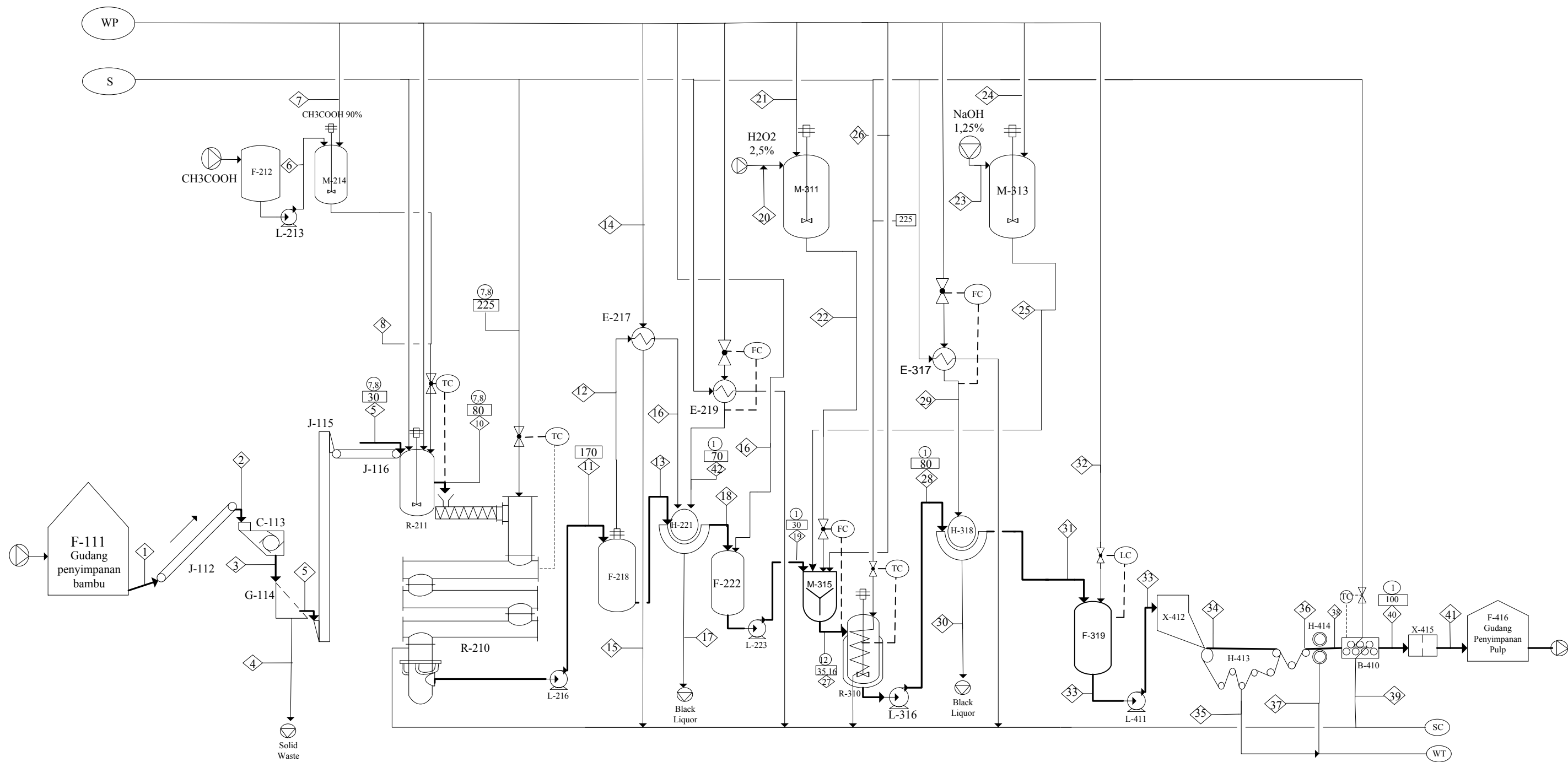
$$\begin{aligned} \text{Power actual} &= \text{BHP} / \text{eff. Motor} = 22,46 \text{ hp} \\ &= 22 \text{ hp} \end{aligned}$$

Spesifikasi :

Fungsi	:	Memompa pulp menuju ke alat selanjutnya		
Tipe	:	<i>Centrifugal Pump</i>		
Kapasitas	:	3271,48	gpm	
Material case	:	<i>Cast iron</i>		
Material rotor	:	<i>Carbon steel</i>		
Suction pressure	:	14,70	psi	
Discharge pressure	:	14,70	psi	
Beda ketinggian	:	15	ft	
Ukuran pipa	:	18 in OD,	sch 40	
Power pompa	:	22	hp	
Jumlah	:	5	unit	

17. Bruks Disc Screen

- Diameter rotor : 21 in
- Rpm maksimum : 70-350 rpm
- Lubang screen : 1,1 in
- Kapasitas : 30 ton per hari



Komponen	Neraca Massa (Kg)																																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41		
Selulosa	139.657,44	139.657,44	139.657,44	1.396,57	138.260,87					138.260,87	138.260,87		138.260,87				2.765,22	135.495,65	135.495,65								135.495,65	135.495,65				132.905,24	132.905,24	132.905,24	132.905,24	132.905,24	132.905,24	132.905,24	132.905,24	132.905,24	132.905,24		
Pentosan	50.065,88	50.065,88	50.065,88	500,66	49.565,22					49.565,22	49.565,22		4.956,52				44.407,39	4.857,39	4.857,39								4.857,39	4.857,39	1.960,15			2.856,15	2.856,15	2.856,15	2.856,15	2.856,15	2.856,15	2.856,15	2.856,15	2.856,15	2.856,15		
Lignin	65.876,15	65.876,15	65.876,15	658,76	65.217,39					65.217,39	5.217,39		5.217,39				104,3	5.113,04	5.113,04								5.113,04	5.113,04	2.106,47			3.006,47	3.006,47	3.006,47	3.006,47	3.006,47	3.006,47	3.006,47	3.006,47	3.006,47	3.006,47		
Abu	7.905,14	7.905,14	7.905,14	79,05	7.826,09					6.260,87	1.565,22		1.565,22															1.565,2															
CH ₃ COOH						234.783,0		234.783,0		260.870		234.783		234.783																													
Air						9.782,6	16.304,38	26.087	16.304,38		19.420		12.126,8	11.911,57	6.647,29	1.282,049	25.896,45	4.010,707	7.718,61	154.872,17	162.090,78	2.251,26	161.917,61	164.168,87	33.134,675,96	37.461,673	37.461,673	369.033,9	37.074,093	756.614,1	29.737	786.351	786.351	685.864	100.487	61.347	39.139	23.721	15.418	23.721			
Aseto Ligninat											66.666		66.666				66.666																										
Uap Air												6.647,3																															
H ₂ O ₂																			4.156		4.156							4.156	4.156		4.156												
NaOH																							2.078		2.078			2.078	2.078		2.078												
(C ₁₀ H ₁₀ O ₂)/Na																																											
O ₂																																											
HO																																											
Total	263.504,61	263.504,61	263.504,61	2635,04	260.869,57	10017,38	16.304,38	260.870,0	283.435,25	254.608,70	531.783,07	6.647,3	508.83,41	11.911,57	6.647,29	6.647,29	1.629,518	171.362,53	4.156,173,91	11.874	154.872,17	166.246,96	4.329	161.917,61	166.246,96	33.134,675,96	37.613,373	369.033,9	37.074,145	895.382	29.737	925.119	925.119	685.864	239.254	61.347	177.907	23.721	154.418	162.488,86			

WP	Water Proses Kg/hari	Limbah Cair	Limbah cair Kg/hari
S	Steam Kg/hari	SC	Steam Condensat Kg/hari
SW	Solid Waste Kg/hari		Tekanan (atm)
	Bahan baku		Temperatur (°C)
	Produk		Aliran Massa Kg/hari
Simbol	Keterangan	Simbol	Keterangan

36	F-416	Gudang Penyimpanan Pulp	1
35	X-415	Cutter	1
34	B-410	Drum Dryer	1
33	H-414	Press Part Roll	1
32	H-413	Wire Part	1
31	X-412	Head Box	1
30	L-411	Pompa	1
29	F-319	Storage Tank	1
28	H-318	Washer 2	1
27	E-317	Heat Exchanger	1
26	L-316	Pompa	1
25	R-330	Reaktor Bleaching Peroksida	1
24	M-315	Tangki Mixing Peroksida	1
23	L-314	Pompa	1
22	M-313	Tangki Pengenceran NaOH 1,25%	1
21	L-312	Pompa	1
20	M-311	Tangki Pengenceran H2O2 2,5%	1
19	L-223	Pompa	1
18	F-222	Brown Stock	1
17	H-221	Washer 1	1
16	E-219	Heat Exchanger	1
15	F-218	Blow Tank	1
14	E-217	Heat Exchanger	1
13	L-216	Pompa	1
12	L-215	Pompa	1
11	M-214	Tangki Pengenceran CH3COOH 90%	1
10	L-213	Pompa	1
9	F-212	Tangki Penyimpanan CH3COOH	1
8	R-210	Pandia Digester	1
7	R-211	Tangki Impregnasi	1
6	J-116	Belt Conveyor	1
5	J-115	Bucket Elevator	1
4	G-114	Bruks Disc Screen	1
3	C-113	Drum Chipper	1
2	J-112	Belt Conveyor	1
1	F-111	Gudang Penyimpanan Bambu	1
No.	Kode	Nama Alat	Jumlah

Digambar Oleh :

Zahra Sahara Arfenti
Fryda Hanum Sofia

2312 030 014
2312 030 016

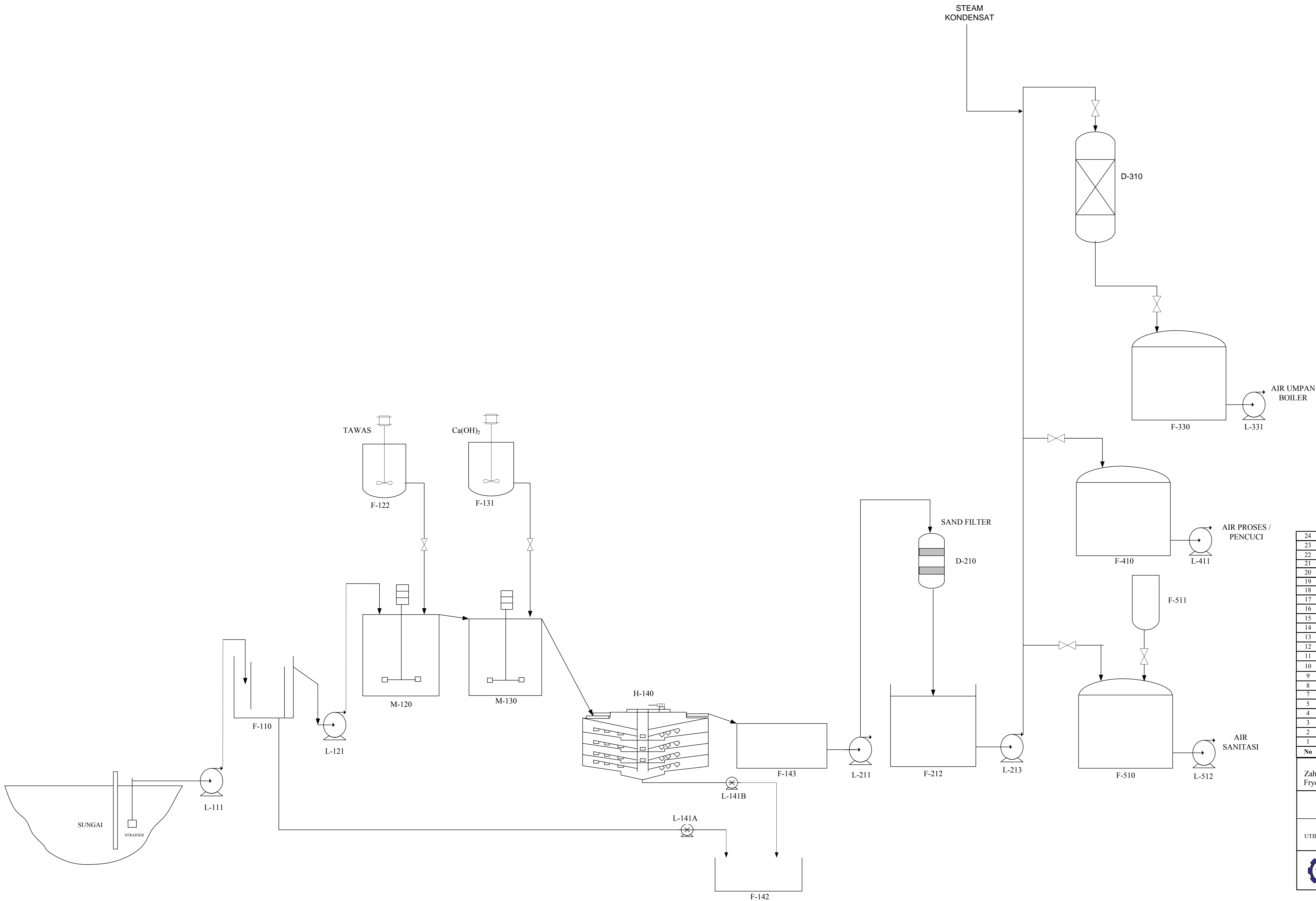
Diperiksa Oleh :

Ir. Elly Agustiani, M. Eng
NIP. 19580819 198503 2 003

Flowsheet :

PABRIK PULP DARI BAMBUPETUNG (DENDROCALAMUS ASPER)
DENGAN PROSES ACETOCELL

PROGRAM STUDI DIII TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2014



24	L-512	Pompa Air Sanitasi	1
23	F-511	Tangki Disinfektan	1
22	F-510	Tangki Penampung Air Sanitasi	1
21	L-411	Pompa Air Proses	1
20	F-410	Tangki Penampung Air Proses	1
19	L-331	Pompa Air Umpan Boiler	1
18	F-330	Tangki Penampung Air Boiler	1
17	D-310	Kation Exchanger	1
16	L-213	Pompa Air Jernih	1
15	F-212	Bak Penampung Air jernih	1
14	L-211	Pompa Air Bersih	1
13	D-210	Sand Filter	1
12	F-143	Bak Penampung Air Bersih	1
11	F-142	Bak Penampung Lumpur	1
10	L-141	Pompa Lumpur	2
9	H-140	Clarifier	1
8	F-131	Tangki Ca(OH) ₂	1
7	M-130	Tangki Flokulasi	1
5	F-122	Tangki Tawas	1
4	L-121	Pompa Air dari Overflow Pengendapan	1
3	M-120	Tangki Koagulasi	1
2	L-111	Pompa Air Sungai	1
1	F-110	Tangki Skimming	1
No	KODE	NAMA ALAT	JUMLAH

Digambar Oleh :		Zahra Sahara Arfenti Fryda Hanum Sofia		2312 030 014 2312 030 016
Diperiksa Oleh :		Ir. Elly Agustiani, M. Eng		
Flowsheet :		UTILITAS PABRIK PULP DARI BAMBU PETUNG (DENDROCALAMUS ASPER) DENGAN PROSES ACETOCELL		
		PROGRAM STUDI D3 TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER SURABAYA		

BIODATA PENULIS



Zahra Sahara Arfenti lahir pada tanggal 27 April 1994 di Kediri, Jawa Timur. Setelah menamatkan Sekolah Menengah Atas di SMAN 4 kota Kediri, penulis melanjutkan studi di jurusan D-III Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS).

Alamat email : zahrasaharaarfenti@gmail.com



Fryda Hanum Sofia lahir pada tanggal 15 Juli 1994 di Surabaya, Jawa Timur. Setelah menamatkan Sekolah Menengah Atas di SMAN 13 Surabaya, penulis melanjutkan studi di jurusan D-III Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS).

Alamat email : frydasykes@yahoo.com